



Høgskulen  
på Vestlandet

# BACHELOROPPGAVE

Kostnadsoptimalisering av energieffektiviserende tiltak

Cost optimization of energy efficiency measures

Tobias Paulsen

Trym Simonsen

Oliver Wilhelmsen

Bachelor byggingeniør

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap/Institutt for byggfag

Veileder: Anders-Johan Almås

22. mai 2023

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet ved Institutt for byggfag og markerer avslutningen av vår treårige utdanning ved Høgskulen på Vestlandet i Bergen. Oppgaven er utarbeidet våren 2023 og utgjør 20 studiepoeng.

Studien er utført av Tobias Paulsen, Trym Simonsen og Oliver Wilhelmsen. Vi studerer tredje året med prosjekt- og byggeledelse med konstruksjonsteknikk og ønsket å fordype oss i en samfunnsproblematikk som har stått sentralt de siste årene. Ved å arbeide med denne oppgaven har vi tilegnet oss nyttig kunnskap om hvordan eksisterende boliger kan energieffektiviseres gjennom ulike tiltak. Videre håper vi at arbeidet kan anvendes for rehabilitering av andre boliger.

Vi ønsker å rette en stor takk til vår veileder Anders-Johan Almås, som har gitt oss god hjelp og støtte i utallige veiledninger. Vi vil også takke Anne Sofie Bjelland for hjelp med valg av case og igangsettelse av oppgaven. Denne studien ville ikke vært mulig uten Fredrik Ingmar Boge som har latt oss utføre befaringer og tester på caset, samt gitt oss verdifull informasjon gjennom hele prosessen. Takk til Høgskulen på Vestlandet som har lånt oss utstyr til gjennomføring av ulike tester under befaringer.

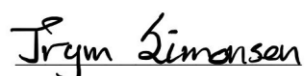
Vi takker alle medstudenter og lærere ved Institutt for byggfag som har lagt til rette for et godt læringsmiljø og alltid vært behjelpelige hvis det skulle være noe. Til slutt vil vi takke hverandre for et godt samarbeid gjennom hele oppgaven og i løpet av studietiden.

Bergen, 22. mai 2023

Tobias Paulsen

Trym Simonsen

Oliver Wilhelmsen



## Sammendrag

Denne bacheloroppgaven har som formål å vurdere kostnadene knyttet til energieffektiviserende tiltak i eksisterende trehusbebyggelse i Norge. Oppgaven utforsker hvordan ulike materialvalg og inngrep i bygningskroppen kan redusere energibehovet til eksisterende boliger og hvordan dette kan gjennomføres ved ulike prisnivåer. Studien er basert på en casestudie, der en konkret bolig ble undersøkt. Gjennomføringen av ulike tester, Simien beregninger og økonomiske analyser bidro til å evaluere effekten av de foreslåtte tiltakene.

Et sentralt funn var at kostnadsoptimalisering spilte en viktig rolle i utformingen av energieffektiviserende tiltak. Ved å vurdere både kostnader og nytteverdi kunne man identifisere de mest hensiktsmessige tiltakene for caset. Dette vil kunne bidra til å optimalisere ressursbruken og sikre en bærekraftig og effektiv rehabilitering av trehusbebyggelse.

Resultatene viste at gjennomføring av ulike tiltak ville gi store forskjeller i boligens energibehov og medfølgende kostnader. Gjennom utvikling av den interaktive kostnadskalkulatoren vil brukere kunne få et estimat på kostnader knyttet til ulik grad av energieffektiviserende tiltak. Det *optimaliserte forslaget* for vår case, vil ha en totalkostnad på 568 000 kr og vil være innenfor Enova sine krav til energinivå 3. Dette medfører at man kan søke om støtte inntil 100 000 kr, som vil gi en totalpris på 468 000 kr.

Denne studien gir verdifull innsikt i hvordan eksisterende trehusbebyggelse kan oppgraderes for å oppnå økt energieffektivitet. Resultatene kan være nyttige for både fagfolk innen bygg- og eiendomssektoren, og beslutningstakere som ønsker å fremme bærekraftig rehabilitering. Videre forskning innen dette feltet kan utforske andre aspekter av energieffektivisering og bidra til en mer omfattende forståelse av hvordan man kan oppnå kostnadsoptimalisering i ulike typer bygninger.

## **Abstract**

This bachelor thesis aims to assess the costs associated with energy-efficient measures in existing timber houses in Norway. The thesis explores how different material choices and interventions in the building structure can reduce the energy demand of existing homes and how this can be achieved at different price levels. The study is based on a case study where a specific home was inspected. The implementation of various tests, Simien calculations and economic analyses contributed to evaluating the effectiveness of the proposed measures.

A key finding was that cost optimization played an important role in the design of energy-efficient measures. By considering both costs and benefits, the most appropriate measures for the case could be identified. This could help optimize resource use and ensure a sustainable and efficient rehabilitation of the timber house buildings.

The results showed that implementing various measures would lead to significant differences in the energy requirements and associated costs of the housing. Through the development of the interactive cost calculator, users will be able to obtain an estimate of the costs associated with different degrees of energy efficiency measures. The optimized proposal of our case would have a total cost of 568 000 NOK and would meet Enova's requirements for energy level 3. This means that one can apply for a subsidy of up to 100 000 NOK, resulting in a total price of 468 000 NOK.

This study provides valuable insights into how existing timber houses can be upgraded to achieve increased energy efficiency. The results can be useful for both professionals in the building and real estate sectors and decision-makers who want to promote sustainable rehabilitation. Further research in this field can explore other aspects of energy efficiency and contribute to a more comprehensive understanding of how cost optimization can be achieved in different types of buildings.

# Innholdsfortegnelse

<b>FORORD</b> .....	<b>I</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>INNHALDSFORTEGNELSE</b> .....	<b>IV</b>
<b>FIGURLISTE</b> .....	<b>VI</b>
<b>TABELLISTE</b> .....	<b>VII</b>
<b>KAPITTEL 1. INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 BAKGRUNN FOR VALG AV TEMA</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1.1 HVORFOR REHABILITERE?</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 PROBLEMSTILLING</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 AVGRENSNINGER</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 VALG AV CASE</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4.1 BOLIGTYPOLOGI</b> .....	<b>5</b>
<b>KAPITTEL 2. TEORI</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1 BYGGETS LIVSSYKLUS</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1.1 LIVSSYKLUSKOSTNADER</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2 VARMETAP</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2.1 TRANSMISJON</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2.2 INFILTRASJON</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2.3 VENTILASJON</b> .....	<b>11</b>
<b>2.3 U-VERDI</b> .....	<b>12</b>
<b>2.3.1 U-VERDI VINDUER</b> .....	<b>14</b>
<b>2.3.2 U-VERDI VEGG</b> .....	<b>15</b>
<b>2.4 ISOLASJON</b> .....	<b>15</b>
<b>2.5 TEKNISK UTSTYR</b> .....	<b>17</b>
<b>2.6 STATLIG STØTTE</b> .....	<b>18</b>
<b>2.6.1 ENOVA</b> .....	<b>19</b>
<b>KAPITTEL 3. METODE</b> .....	<b>21</b>
<b>3.1 VITENSKAPSTEORETISK BAKGRUNN</b> .....	<b>21</b>
<b>3.2 FORSKNINGSDESIGN</b> .....	<b>21</b>
<b>3.3 LITTERATURSØK</b> .....	<b>21</b>

3.4 TESTER.....	22
3.4.1 TRYKKTEST.....	22
3.4.2 TERMOGRAFERING.....	23
3.5 ANALYSER.....	24
3.5.1 SIMIEN.....	24
3.5.2 ØKONOMI.....	25
3.5.3 SPØRREUNDERSØKELSE.....	25
3.6 DATAKVALITET.....	26
3.6.1 VALIDITET OG RELIABILITET.....	26
<b><u>KAPITTEL 4. RESULTATER OG DISKUSJON.....</u></b>	<b>28</b>
4.1 BEFARING.....	28
4.1.1 TRYKKTEST.....	30
4.1.2 TERMOGRAFERING.....	32
4.2 ANALYSE AV SPØRREUNDERSØKELSE.....	34
4.3 SIMIEN ANALYSE.....	35
4.3.1 INPUTVERDIER.....	36
4.3.2 ÅRSSIMULERING.....	38
4.3.3 ENERGIMERKE.....	39
4.3.4 FEILKILDER.....	40
4.4 ØKONOMISKE ANALYSER.....	41
4.5 TILTAK FOR BOLIGEN.....	44
4.5.1 OPPGRADERING TIL ENERGINIVÅ 3.....	45
4.5.2 OPPGRADERING TIL ENERGINIVÅ 2.....	49
4.5.3 OPPGRADERING TIL ENERGINIVÅ 1.....	52
4.6 ANDRE TILTAK.....	54
4.7 OPTIMALISERT FORSLAG.....	55
4.8 SAMMENSTILLING AV LØSNINGER.....	60
<b><u>KAPITTEL 5. KONKLUSJON.....</u></b>	<b>62</b>
<b><u>KAPITTEL 6. AVSLUTTENDE REFLEKSJONER.....</u></b>	<b>63</b>
6.1 FORSLAG TIL VIDERE FORSKNING.....	64
<b><u>KAPITTEL 7. KILDELISTE.....</u></b>	<b>65</b>

## Figurliste

FIGUR 1: PRIVAT FOTO AV CASEOBJEKTET.....	4
FIGUR 2: KART OVER BERGEN, SOM VISER CASEOBJEKTETS LOKASJON.....	4
FIGUR 3: EIENDOMSVERDI OVER TID.....	6
FIGUR 4: FDVU-KOSTNADER.....	7
FIGUR 5: EGENKOMPONERT ILLUSTRASJON AV GEOMETRISK KULDEBRO. ....	9
FIGUR 6: EGENKOMPONERT ILLUSTRASJON AV SJIKT I VEGG.....	13
FIGUR 7: EGENKOMPONERT ILLUSTRASJON AV ENERGIKARAKTER. ....	19
FIGUR 8: PRIVAT FOTO AV BLOWERDOOR. ....	22
FIGUR 9: ELEKTROMAGNETISK SPEKTER.....	23
FIGUR 10: PRIVAT FOTO AV KNEVEGGER. ....	29
FIGUR 11: ILLUSTRASJON AV KNEVEGG, LAGET I REVIT. ....	29
FIGUR 12: PLANTEGNING AV KJELLER, LAGET I REVIT. ....	30
FIGUR 13: PLANTEGNING AV FØRSTEETASJE, LAGET I REVIT. ....	30
FIGUR 14: PLANTEGNING AV ANDREETASJE, LAGET I REVIT. ....	30
FIGUR 15: PLANTEGNING AV LOFT, LAGET I REVIT.....	30
FIGUR 16: PRIVAT FOTO AV DG-700.....	31
FIGUR 17: TERMOGRAM AV VINDU. ....	32
FIGUR 18: PRIVAT FOTO AV VINDU.....	32
FIGUR 19: TERMOGRAM AV TAKVINDU.....	32
FIGUR 20: PRIVAT FOTO AV TAKVINDU.....	32
FIGUR 21: TERMOGRAM AV LUKE. ....	33
FIGUR 22: PRIVAT FOTO AV LUKE. ....	33
FIGUR 23: TERMOGRAM AV HJØRNE. ....	33
FIGUR 24: PRIVAT FOTO AV HJØRNE.....	33
FIGUR 25: BEREGNET LEVERT ENERGI AV DAGENS SITUASJON.....	36
FIGUR 26: VARMEBUDSJETT AV DAGENS SITUASJON.....	38
FIGUR 27: ENERGI BUDSJETT AV DAGENS SITUASJON.....	39
FIGUR 28: ENERGIKARAKTER FOR DAGENS SITUASJON. ....	40
FIGUR 29: INPUTFELT FOR BEREGNING AV VINDUSAREAL. ....	42
FIGUR 30: KOSTNADSKALKULATOREN. ....	43
FIGUR 31: EGENKOMPONERT GRAF AV STRØMPRISENS UTVIKLING MELLOM 2012-2022.....	44
FIGUR 32: ILLUSTRASJON AV BOLIG OPPGRADERT TIL ENERGINIVÅ 3, LAGET I REVIT.....	45
FIGUR 33: KOSTNADSKALKULATOREN MED INPUTVERDIER FOR ENERGINIVÅ 3.....	47
FIGUR 34: KOSTNADER VED OPPGRADERING TIL ENERGINIVÅ 3.....	47
FIGUR 35: ÅRLIG REDUKSJON I STRØMKOSTNADER VED OPPGRADERING TIL ENERGINIVÅ 3.....	48

FIGUR 36: ILLUSTRASJON AV BOLIG OPPGRADERT TIL ENERGINIVÅ 2, LAGET I REVIT.....	49
FIGUR 37: VARMETAPSBUDSJETT VED OPPGRADERING TIL ENERGINIVÅ 2.....	50
FIGUR 38: KOSTNADSKALKULATOREN MED INPUTVERDIER FOR ENERGINIVÅ 2.....	51
FIGUR 39: KOSTNADER VED OPPGRADERING TIL ENERGINIVÅ 2.....	51
FIGUR 40: ILLUSTRASJON AV BOLIG OPPGRADERT TIL ENERGINIVÅ 1, LAGET I REVIT.....	52
FIGUR 41: KOSTNADSKALKULATOREN MED INPUTVERDIER FOR ENERGINIVÅ 1.....	53
FIGUR 42: KOSTNADER VED OPPGRADERING TIL ENERGINIVÅ 1.....	53
FIGUR 43: EKVIVALENT U-VERDI.....	57
FIGUR 44: ENERGIBUDSJETT VED OPPGRADERING TIL OPTIMALISERT FORSLAG.....	57
FIGUR 45: VARMETAPSBUDSJETT VED OPPGRADERING TIL OPTIMALISERT FORSLAG.....	58
FIGUR 46: KOSTNADSKALKULATOREN MED INPUTVERDIER FOR OPTIMALISERT FORSLAG.....	58
FIGUR 47: KOSTNADER VED OPPGRADERING TIL OPTIMALISERT FORSLAG.....	59
FIGUR 48: LEVERT ENERGI VED OPPGRADERING TIL OPTIMALISERT FORSLAG.....	59

## Tabelliste

TABELL 1: LEKKASJETALL FOR ULIKE BYGNINGSTYPOLOGIER.....	11
TABELL 2: UTREGNING AV U-VERDI FOR INHOMOGENE SIKT.....	13
TABELL 3: ANBEFALTE KRAV TIL ENERGINIVÅENE.....	20
TABELL 4: OPPGRADERINGSMULIGHETER FOR Å OPPNÅ ENERGINIVÅ 3.....	46
TABELL 5: OPPGRADERINGSMULIGHETER FOR Å OPPNÅ ENERGINIVÅ 2.....	49
TABELL 6: OPPGRADERINGSMULIGHETER FOR Å OPPNÅ ENERGINIVÅ 1.....	52
TABELL 7: NEDBETALINGSTID PÅ ANDRE TILTAK.....	54
TABELL 8: SAMMENSTILLING AV ULIKE LØSNINGER.....	61



## **Kapittel 1. Innledning**

I de senere årene har økt fokus på klimaendringer og behovet for bærekraftig utvikling ført til større oppmerksomhet rundt energieffektivisering av boliger. Dette er en viktig faktor for å redusere klimagassutslipp og sikre en bærekraftig fremtid. I tillegg er økonomisk bærekraftighet også en viktig faktor som må vurderes når man tar hensyn til implementeringen av energieffektive tiltak. Slike tiltak kan være en lønnsom investering på lang sikt både for miljøet og samfunnet.

Trehusbebyggelse er en stor del av den norske boligmassen, hvor det fortsatt er store muligheter for å redusere energiforbruket og dermed bidra til å redusere klimafotavtrykket. Mange eldre bygninger slipper ut mye varme gjennom klimaskjermen, noe som medfører et overforbruk av energi til oppvarming. Implementering av energieffektive tiltak kan være utfordrende på grunn av kostnadene knyttet til gjennomføringen. Derfor er det viktig å undersøke lønnsomheten av tiltakene.

Studien vil redegjøre for kostnadsoptimaliseringen av energieffektive tiltak i eksisterende trehusbebyggelse. Ved å gjennomføre en casestudie vil oppgaven undersøke kostnadseffektive tiltak for å redusere energiforbruket og oppnå en mer bærekraftig boligmasse. Økonomiske analyser vil gi et innblikk i hvordan kostnadene kan variere for å sikre at energieffektive tiltak er lønnsomme og bærekraftige på lang sikt.

Gjennom denne studien vil vi kunne få verdifull innsikt i hvordan kostnadsoptimalisering kan bidra til å realisere potensialet for energieffektivitet i trehusbebyggelse. Slik innsikt kan bidra til å støtte beslutningstakere i å implementere kostnadseffektive og bærekraftige tiltak.

### **1.1 Bakgrunn for valg av tema**

Det fokuseres stadig mer på bærekraft og klima. Norge har forpliktet seg til Parisavtalen, noe som innebærer at vi skal bli et lavutslippssamfunn innen 2050 (United Nations Climate Change, 2016). Dette vil si at klimagassutslippene skal reduseres med 90-95 prosent sammenlignet med referanseåret 1990. Det er også et delmål om reduksjon av utslipp med 50-55 prosent innen 2030 (Lovdata, 2021, § 3 & 4).

Rehabilitering av bygg er en viktig og effektiv måte å redusere klimagassutslipp på. Ifølge SINTEF er påvirkningen på miljøet halvparten så stor ved rehabilitering sammenlignet med å rive og bygge nytt (Nitter, 2020).

Vi står midt i en energikrise der etterspørselen etter kraft er stor i hele Europa. Utbyggingen av fornybar energi er ressurs- og tidskrevende, det er derfor viktig å samtidig redusere energiforbruket. Energieffektivisering av eksisterende bygninger har et betydningsfullt sparepotensial på landsbasis. En analyse fra Norges vassdrags- og energidirektorat viser at Norge kan redusere forbruket med 13 TWh per år grunnet energieffektivisering (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2021). Dette tilsvarer ca. 10 % av Norges totale strømforbruk på et år.

### **1.1.1 Hvorfor rehabilitere?**

I Sintef sin rapport *Grønt er ikke bare en farge - Bærekraftige bygninger eksisterer allerede* indikeres det at miljøpåvirkningen fra nybygg er tilnærmet dobbelt så høy som den er fra eksisterende bygg. Bakenforliggende årsak for det skyldes muligheten til å redusere eller unngå klimagassutslipp ved å rehabilitere og gjenbruke eksisterende bygninger. Det vil medføre reduserte utslipp fra produksjon, transport, bygging, utskifting av materialer og elementer samt avhending. Dette er såkalte *bundne utslipp*. Samstundes er driftsfasens energiforbruk antakelig mindre for nyere bygg, men de bundne utslippene er derimot betraktelig høyere ved selve oppreisningen av et nybygg (Fufa et al., 2020, s. 21). I rapporten viser det til forskning gjort rundt norske casestudier, der det vises til at materialbruk i rehabiliterte boliger gir 2/3 lavere klimagassutslipp enn gjensidige nybygg (Fufa et al., 2020, s. 64).

Å bygge nye bygninger i dagens samfunn vil medføre høyere klimagassutslipp, som er med på å undergrave ambisjonene om å erholde klimamålene til 2030 og 2050. Selv tatt i betraktning at nyere bygg kan ha lavere årlig utslipp relatert til energibruk i drift vil det ta flere tiår før utjevningen blir aktuell (Fufa et al., 2020, s. 74). Dette skyldes på grunn av belastningene det tar på klima å oppføre nye bygg. Studien indikerer at rehabilitering av allerede eksisterende bygninger er mer bærekraftig opp mot 2030- og 2050 målene. Det kan ta helt opp til 80 år før nybygg har utliknet klimagassutslippene knyttet til byggeprosessen (Fufa et al., 2020, s. 64). I kjølvannet av dette kan man konkludere med at det vil være en miljømessig fordel å rehabilitere fremfor å bygge nytt.

For å sikre en bærekraftig fremtid vil rehabilitering og gjenbruk av eksisterende bygg være avgjørende, da det meste av bygningsmassen som eksisterer i dag fremdeles vil eksistere i 2050. Imidlertid er det viktig å merke seg at den eksisterende bygningsmassen har varierende grad av potensial for energieffektivisering. Faktorer som alder, materialbruk, konstruksjon og verneverdighet vil ha betydning. Derfor bør kravene til energibruk og energieffektiviserende tiltak tilpasses de spesifikke bygningene og situasjonene. Det er essensielt å vurdere en kombinasjon av miljøvennlige materialvalg, energieffektiviserende tiltak og fornybar energi når man rehabiliterer eksisterende bygninger (Fufa et al., 2020, s. 74). Rapporten understreker viktigheten av å velge riktig tiltak for energieffektivisering av eksisterende bygg, slik at tiltakene ikke er så omfattende at de fører til økte bundne utslipp fra oppføringen enn reduksjoner fra løpende utslipp.

## **1.2 Problemstilling**

Oppgaven tar sikte på å kartlegge hvordan boliger kan energieffektiviseres med fokus på økonomisk bærekraftighet. På bakgrunn av dette har vi utformet problemstillingen:

*Kostnadsoptimalisering av energieffektive tiltak i eksisterende trehusbebyggelse - En casestudie av energieffektiviserende tiltak og deres lønnsomhet.*

## **1.3 Avgrensninger**

Omfanget av oppgaven må begrenses for å være innenfor ressurs- og tidsbegrensningene vi har. Oppgaven har hovedfokus på tiltak som omfatter inngrep på selve bygningskroppen. Dette innebærer ulike typer isolasjon, tettesjikt, samt andre elementer i bygningskroppen. Studien vil ikke fokusere på tekniske installasjoner, men det vil bli drøftet og vurdert i mindre grad som supplerende tiltak.

For at caset skal ha nytte av en energieffektiviserende oppgradering, bør utvalgt case være innenfor rimelig alder slik at en rehabilitering vil være nødvendig og økonomisk gunstig. Oppgaven avgrenses videre til tradisjonell norsk trehusbebyggelse, som består av bindingsverk og trevirke. Vi avgrenser oss til boligtyper som småhus, rekkehus, tomannsboliger og eneboliger. Studien vil ikke gjelde i like stor grad for boligtypologier som blokk og større industribygg, da disse ofte er av andre materialer og har andre krav.

Geografisk vil oppgaven avgrenses til Norge, da klimaet skiller seg fra andre deler av verden, samt at det er ulike byggeskikker og tekniske krav.

#### 1.4 Valg av case

Valg av case er en viktig del av studiet og danner grunnlaget for nytteverdien forskningen vil ha for den norske boligutviklingen. Det er derfor nødvendig at caset er representativt for et stort antall av boligene i Norge.

På grunn av god tilgang til skog, begynte Norge tidlig å bruke trevirke som byggemateriale. Dette medfører at store deler av boligbebyggelsen i Norge består av trehus (Bøhlerengen, 2009, s. 57). For at casestudien skal være generaliserbar var det viktig at caseobjektet var bygget i samme materiale og på samme måte som store deler av boligene i Norge. Vi ønsket at caset var bygget før nyere tekniske forskrifter og byggekrav. Dette ønsket vi for å ha et stort potensial til energieffektivisering, samt kunne se en signifikant forbedring ved innføring av tiltak.

Caset vi valgte er en vertikaldelt tomannsbolig (se figur 1), noe som er representativt for trehusbebyggelsen i Norge. Den aktuelle boligen på Nymark i Bergen (se figur 2) er bygget i en tidsepoke før tekniske forskrifter var innført. Boligen har gjennomgått trinnvis oppgradering gjennom årene, og det er derfor usikkert hvordan boligens energieffektivitet er i dag.



Figur 1: Privat foto av caseobjektet.



Figur 2: Kart over Bergen som viser caseobjektets lokasjon (Kartverket, 2020).

Boligen er oppført ved bruk av bindingsverk. Majoriteten av husene i Norge er bygget på denne måten. Det var opprinnelig oppført som to etasjer med kjeller og kaldloft. I ettertid har det blitt etterisolert i kjeller, og loftet har blitt omgjort slik at det kan regnes som en del av bruksarealet. Utvendig er det liggende enkelfals kledning rundt hele bygget og taket er teknet med teglstein. Kjelleren er bygd opp av betong og er delvis under terreng.

### **1.4.1 Boligtypologi**

På begynnelsen av 1900-tallet var det stort fokus på boligutvikling i Norge. Landet var preget av trange, usunne boliger. Radikaliseringen av arbeiderklassen dannet grunnlag for en sosial boligpolitikk, som skulle bygge flere og sunnere boliger, både helt eller delvis med offentlig støtte (Martens, 2023). Store deler av bebyggelsen på denne tiden var inspirert av den engelske hagebyen, som bestod av boligområder med småhus og rekkehus (Nielsen, 2011).

For at husene på Nymark skulle bli så billige som mulig, ble det i 1922 utformet en selvbyggerkoloni av Bergen kommune (Nielsen, 2014). I løpet av fire år skulle 188 boliger bygges på denne måten. Selvbyggerkolonien fungerte slik at Bergen kommune satte opp råbygget til boligene, for så at boligene ble solgt videre til privatpersoner som selv skulle bygge alt innvendig. På denne måten ville det bli mer lønnsomt for begge parter å skape boligfortetting i området.

På denne tiden bar husene preg av enkelhet, funksjonalitet og tilpasning til det norske klima, noe selvbyggerkolonien er et godt eksempel på. Boligene har en enkel utforming og arkitektur, hvor mange er tilnærmet identiske. Dette bidrar til at boligtypologien på Nymark er generaliserbar for mange andre boliger i Norge. I 2023 var om lag 70 % av alle boligtyper i Norge kategorisert som småhus, rekkehus, kjedehus, tomannsbolig eller enebolig (SSB, 2023a). Denne boligtypen er derfor høyt representert rundt om i landet, og mange av disse boligene ble bygget før byggeforskriftene ble standardisert i 1985 (SSB, 2023b).

## Kapittel 2. Teori

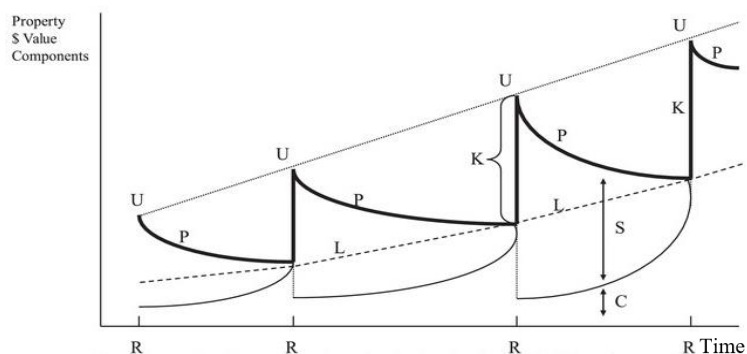
Dette kapittelet tar for seg oppgavens teoretiske grunnlag som videre brukes til å besvare problemstillingen. Teoridelen tar først for seg de ulike stadiene et bygg går gjennom og hvilke kostnader som må påregnes under livssyklusen. Deretter utredes bygningsfysisk teori om varmetap og U-verdi. Videre beskrives ulike materialer og deres ulike egenskaper. Til slutt fremlegges de statlige støtteordningene ved innføring av energieffektiviserende tiltak.

### 2.1 Byggets livssyklus

Et bygg sitt livsløp kan deles inn i fire faser. Den første fasen starter ved planlegging og prosjektering av bygget. Deretter kommer selve oppføringen, etterfulgt av bruken og driften av bygget. Til slutt avsluttes bygningens livssyklus ved rivning (Kohler et al., 2013, s. 19).

Verdien på eiendommer avhenger av to faktorer: tomteverdi og strukturverdi. Førstnevnte er selve verdien på tomten og dens lokasjon, mens sistnevnte er bygningsmassens verdi (Bokhari & Geltner, 2018, s. 752). Tar man utgangspunkt i at det ikke vil være noe negativ innvirkning på tomteverdien, noe som ikke er fornuftstridig for tomter i urbaniserte områder, er det kun bygget i seg selv som kan påvirke eiendommens verdiutvikling negativt. Bygninger kan miste deler av sin totale verdi ved aldring og foreldelse. Nedrivning kan ikke forhindres, men den kan utsettes så man får mest mulig utnyttelse av eksisterende bygg (Kohler et al., 2013, s. 18).

Figur 3 illustrerer verdiutviklingen til en eiendom over tid. L viser tomteverdien på ulike tidspunkt. P er den totale eiendomsverdien, som avhenger av både tomten og bygningsstrukturen. Denne verdien avtar over tid, da det skjer fysiske eller funksjonelle forfall på strukturen. Likevel er det mulig å øke denne ved å gjøre vedlikehold eller utvikling av eiendommen, vist med bokstav K. S er strukturverdien av selve bygningsmassen.



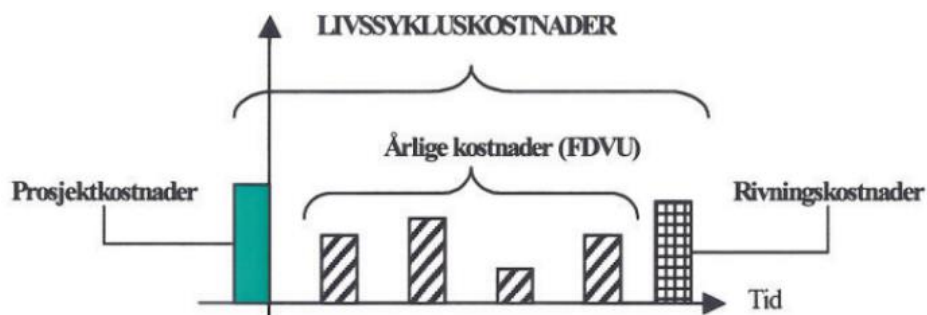
Figur 3: Eiendomsverdi over tid (Bokhari & Geltner, 2018, s. 750).

For at bygg skal oppnå best mulig levetid må det legges til rette for god FDVU (Forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling). Forvaltning omfatter oppgaver tilknyttet administrasjon av eiendom. Hva dette innebærer er avhengig av type eiendom og eierforhold. Levetiden til forskjellige bygningsdeler avhenger av type og kvalitet på materialer, samt drift og vedlikehold. Ved god drift og vedlikehold vil man kunne forlenge byggets levetid og dermed utsette nedrivningen. Under drift ligger driftskostnader, ettersyn og den løpende driften av bygget, mens under vedlikehold ligger alt av rehabilitering og annet arbeid som opprettholder byggets kvalitetsnivå. Utvikling skiller seg fra vedlikehold ved arbeid som omfatter vesentlig oppgradering av boligen og tilfredsstillelse av nyere krav (Haugen, 2008, s. 4–6).

### 2.1.1 Livssyklus kostnader

Livssyklus kostnader er summen av kapitalkostnad, FDVU-kostnader i brukstiden og restkostnad ved rivning (Bjørberg et al., 2007, s. 3). Det er interessant å analysere hva man kan legge ut av kapitalkostnad for å få en vinning på driftssiden (FDVU-kostnader). Ved vurdering av energiøkonomiske tiltak for eksisterende bygg, er det viktig å evaluere investeringskostnadene opp mot kostnadene som påløper årlig og periodisk. Analysing av livssyklus kostnadene kan gjøre at man finner løsninger som optimaliserer forholdet mellom investering og FDVU-kostnader (Haugen, 2008, s. 4).

Når et bygg er ferdigstilt, påløper FDVU-kostnadene helt frem til bygget rives. FDVU-kostnader er alle kostnadene tilknyttet forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling. Under bygningens livsløp kan disse kostnadene utgjøre en stor andel av de totale kostnadene (Bjørberg et al., 2007, s. 4). I figur 4 er de årlige FDVU-kostnadene illustrert som en del av livssyklus kostnadene, som påløper mellom prosjekt- og rivningskostnader. Størrelsen på FDVU-kostnadene varierer fra bolig til bolig, og avhenger av byggets tilstand og utforming.



Figur 4: FDVU-kostnader (Bjørberg et al., 2007, s. 6).

Forvaltningskostnader påløper uansett om bygget er i drift eller ikke. Under dette går kommunale skatter og avgifter, administrasjon og forsikringer. Driftskostnader er alle kostnader som er knyttet til den daglige driften av bygget. Dette innebærer ting som renhold, energi og andre tekniske installasjoner. Vedlikeholdskostnader omfatter kostnader som opprettholder et fastsatt kvalitetsnivå generelt ved bygningen og dens tekniske installasjoner. Disse er for å ivareta byggets tiltenkte formål innenfor brukstiden. Utviklingskostnader omfatter de kostnadene som går til tiltak for å imøtekomme nye krav, samt kostnader til utskifting av bygningsdeler for å øke byggets kvalitetsnivå. Disse kostnadene kan forekomme ved endring av byggets behov, eller oppgradering av tekniske installasjoner (Mørk, 2018).

Kostnader knyttet til energibruk er i mange tilfeller en stor del av livssyklus kostnadene. Ved innføring av energibesparende tiltak vil man kunne redusere disse, og dra nytte av dette i årene fremover (Haugen, 2008, s. 4).

## **2.2 Varmetap**

Varmetap er en viktig faktor som kan være en stor kilde til energitap og høye oppvarmingskostnader i bygg. Det oppstår gjennom konstruksjonsdeler i klimaskjermen som tak, yttervegger, gulv, vinduer og dører. Videre i dette kapitlet presenteres de mest aktuelle kategoriene innenfor varmetap for vår studie: transmisjon, infiltrasjon og ventilasjon.

### **2.2.1 Transmisjon**

Transmisjonsvarmetap viser til varmetap mot det frie som oppstår gjennom klimaskjermen, samt varmetap mot uoppvarmede soner. Varmetransporten vil passere ulike materialer som stål, tre, betong, mineralull og luftsjikt. Dette kan klassifiseres i tre hovedtransportformer: varmeledning, konveksjon og stråling (Geving, 2021, s. 18).

Varmeledning er transport som skjer gjennom et fast materiale ved hjelp av molekylær kontakt og energioverføring fra et varmt til kaldt område. Konveksjon er varmetransport som skjer gjennom bevegelsen av et fluid, som luft eller vann, og overfører varmeenergi fra varmt til kaldt område. Stråling er læren om varmetransport som skjer ved at varmeenergi overføres i form av elektromagnetisk stråling fra et varmt til kaldt område (Geving, 2021, s. 22).

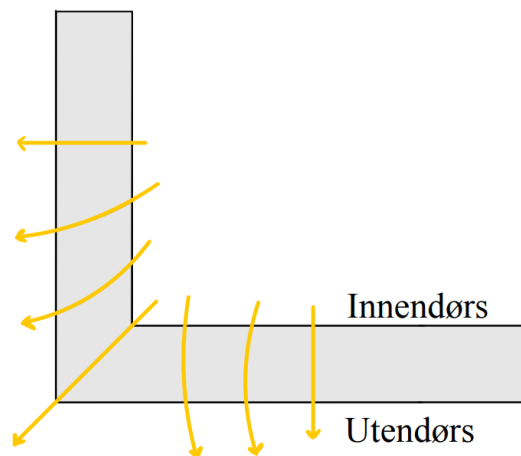
For å redusere transmisjonsvarmetap er det vanlig å bruke isolasjonsmaterialer med lav varmekonduktivitet, som vil si den har lav termisk ledningsevne. Dette er typisk materialer



som mineralull og skumplast. Det er også hensiktsmessig å bruke termisk brutte konstruksjoner for å redusere kuldebroer (DiBK, 2015).

Kuldebroer er en del av konstruksjonen som har høyere varmetap enn de omkringliggende bygningsdelene. Det er i hovedsak i overgangen mellom ulike konstruksjonselementer at kuldebroer oppstår. Ulik varmekonduktivitet på materialene i bygningskroppen vil gi varmetap gjennom materialene med høyere varmekonduktivitet (Fuchs, 2022).

En kuldebro som oppstår ved at det er forskjell på innvendig og utvendig areal, kalles for en geometrisk kuldebro. Dette forekommer ved utvendige hjørner eller ved overganger mellom gulv/vegg/tak (Gustavsén et al., 2008). Figuren [under](#) illustrerer hvordan varmetap spres gjennom en geometrisk kuldebro.



Figur 5: Egenkomponert illustrasjon av geometrisk kuldebro.

### 2.2.2 Infiltrasjon

Infiltrasjonsvarmetap refererer til varmetap som oppstår når utvendig luft trenger inn i et oppvarmet rom gjennom sprekker og åpninger i bygningskonstruksjonen (Geving, 2021, s. 34). Dette kan være en betydelig kilde til varmetap i boliger, spesielt i eldre bygninger.

Luftlekkasjer gjennom utettheter i bygningskroppen kan føre til at det skjer et luftskifte i bygget, som er definert som mengden luft som blir skiftet ut per kubikkmeter av romvolumet. Infiltrasjon av luft kan påvirkes av mange faktorer, som vindtrykk, temperaturforskjeller og ventilasjonssystemer. Når utendørs luft trenger inn vil det forårsake et trykkfall inne i

bygningen. Dette trykkfallet kan føre til at luften trekker inn gjennom sprekker og åpninger i bygningskonstruksjonen (Geving, 2021, s. 36).

For å redusere infiltrasjonsvarmetapet kan det være hensiktsmessig å tette bygget med lufttette sjikt, slik som dampsperre og vindsperre. Det kan også være nyttig å installere et ventilasjonssystem med varmegjenvinning, som kan redusere varmetapet ved å utnytte varmen i den utgående luften og bruke den til å varme opp den innkommende luften (Enova, 2016a).

Lekkasjetall er en måte å identifisere hvor tett et bygg er. Dette kan også defineres som antall luftvekslinger per time, altså hvor mange ganger luften i et bygg skiftes ut ved en trykkdifferanse på 50 Pa (SINTEF, 2014). Dette kan man måle ved å gjennomføre en trykktest [3.4.1]. Avlesningen fra denne testen gir hvor mange m<sup>3</sup> med luft som lekker gjennom utettheter per time. Lekkasjetallet finner man ved å dividere samlet luftlekkasjemengde  $V_{50}$  med bygningens volum  $V$ :

$$n_{50} = \frac{V_{50}}{V}$$

Resultatet kan deretter måles opp mot de aktuelle kravene for å avdekke bygningens lufttetthet.

De tekniske byggeforskriftene stiller krav til lekkasjetall for bygninger. Kravene ble skjerpet ved innføringen av TEK10 og TEK17. I forskriften skilles det mellom forskjellige bygningskategorier. I tillegg kom NS 3700 i 2010, som stiller egne krav til passivhus og lavenergibygninger (Standard Norge, 2013). I tabell [1](#) nedenfor er kravene til lekkasjetall for ulike bygningstyper listet opp.

Bygningskategori	Småhus	Boligblokk	Andre bygninger
TEK 97	$\leq 4,0 \text{ h}^{-1}$	$\leq 3,0 \text{ h}^{-1}$	$\leq 1,5 \text{ h}^{-1}$
TEK 10	$\leq 2,5 \text{ h}^{-1}$	$\leq 1,5 \text{ h}^{-1}$	$\leq 1,5 \text{ h}^{-1}$
TEK 17	$\leq 1,5 \text{ h}^{-1}$	$\leq 1,5 \text{ h}^{-1}$	$\leq 1,5 \text{ h}^{-1}$
Lavenergi klasse 1 - NS 3700	$\leq 1,0 \text{ h}^{-1}$	$\leq 1,0 \text{ h}^{-1}$	$\leq 1,0 \text{ h}^{-1}$
Lavenergi klasse 2 - NS 3700	$\leq 3,0 \text{ h}^{-1}$	$\leq 3,0 \text{ h}^{-1}$	$\leq 3,0 \text{ h}^{-1}$
Passivhus - NS 3700	$\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$	$\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$	$\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$

Tabell 1: Lekkasetall for ulike bygningstypologier.

### 2.2.3 Ventilasjon

Varmetap i boliger gjennom ventilasjon oppstår når varm luft lekker ut av boligen gjennom ventilasjonskanaler eller når kald luft trenger inn i boligen gjennom utettheter i ventilasjonssystemet. Dette fører til at det blir vanskeligere å opprettholde en stabil og ønsket temperatur inne i boligen, og kan føre til høye energikostnader og økt slitasje på oppvarmings- og ventilasjonssystemet (SINTEF, 2017).

Hvor mye varmetap som oppstår gjennom ventilasjon, avhenger av hvilken type ventilasjonsanlegg man har. Det deles ofte inn i tre hovedprinsipper: naturlig-, mekanisk avtrekk- og balansert ventilasjon. Ved naturlig ventilasjon er hovedprinsippet å utnytte naturlige luftstrømmer som danner luftbevegelse rundt i bygget. Virkemåten er at termisk oppdrift og vindsug driver innvendig luft ut. Ny friskluft tilføres via luftventiler og utettheter i klimaskjermen. Samme prinsipp gjelder for mekanisk avtrekksventilasjon, men det er i tillegg mekaniske driftede vifter som bidrar til å føre forurenset luft ut (SINTEF, 2017). Dette er typisk plassert ved kjøkken og våtrom. Begge former for ventilasjon driver oppvarmet inneluft ut, og fører uteluft direkte inn i boligen. Dette kan være med på å bidra til store varmetap, særlig ved kalde utetemperaturer.

For å minimere varmetap gjennom ventilasjon kan man installere godt isolerte kanaler og sørge for at ventilasjonssystemet er tett. Det kan også være hensiktsmessig å installere ventilasjonsvifter med varmegjenvinning, som utnytter varmen i den utgående luften til å

varme opp den innkommende. Dette kan gjøres ved å installere et balansert ventilasjonsanlegg, som vil redusere behovet for oppvarming og dermed bidra til å spare energi og redusere varmetap (SINTEF, 2017).

Det er viktig å være oppmerksom på at det er en balanse mellom å redusere varmetapet og opprettholde godt inn klima. Det er derfor viktig å sørge for tilstrekkelig ventilasjon for å unngå fuktighet og andre skadelige stoffer som kan samles innendørs.

### 2.3 U-verdi

U-verdi, også kjent som varmegjennomgangskoeffisienten, er et mål på varmetap gjennom bygningskonstruksjoner. U-verdien beskriver mengden varme som går gjennom en konstruksjon per tidsenhet og per kvadratmeter ved en gitt temperaturforskjell mellom innsiden og utsiden av bygningen (SINTEF, 2018). Jo lavere U-verdi, desto mindre varme vil gå tapt gjennom bygningens klimaskjerm. Dermed vil energiforbruket for oppvarming av bygningen reduseres. I denne sammenhengen spiller U-verdier en avgjørende rolle for å optimalisere energieffektiviteten til bygninger og redusere klimagassutslippene.

For å finne U-verdier trenger man varmekonduktivitet og tykkelse. Eksempelvis har mineralull en konduktivitet på  $0,034 \frac{W}{mK}$ , og regnestykket for 100 mm blir følgende:

$$R = \frac{0,1 \text{ m}}{0,034 \frac{W}{mK}} = 2,94 \frac{m^2K}{W} \text{ og U-verdi er lik: } \frac{1}{R} = \frac{1}{2,94 \frac{m^2K}{W}} = 0,34 \frac{W}{m^2K}$$

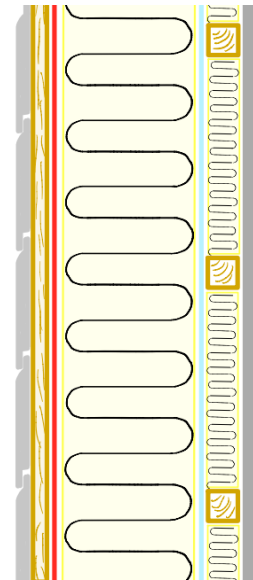
For det meste vil det være aktuelt å regne U-verdier for en sammensatt konstruksjon, for eksempel en yttervegg. Det består av flere sjikt og er ofte inhomogene. Prinsippet er det samme, man deler 1 på de adderte varmemotstandene til de forskjellige sjiktene.

Fremgangsmåten på å regne R i de sjiktene som er inhomogene er å ta to R verdier,  $R_{\text{øvre}}$  og  $R_{\text{nedre}}$ . Det regnes med tilnærmet ingen varmestrøm i førstnevnte og uendelig varmestrøm mellom sjiktene i sistnevnte. Det tas så et gjennomsnitt av disse og verdien brukes på vanlig måte videre.  $R_{\text{si}}$  er en innvendig overgangsmotstand og  $R_{\text{se}}$  en utvendig overgangsmotstand som standardiseres og må alltid tas med (SINTEF, 2018).

Isolasjonsandel: 91 %			Treandel: 9 %		
Sjikt:	d [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
R <sub>si</sub>			0,130		0,130
Gips	0,0125	0,210	0,060		0,060
Dampsperre			0,030		0,030
Isolasjon	0,200	0,034	5,882	0,130	1,538
Asfaltplate	0,012	0,049	0,245		0,245
Kledning	0,019	0,140	0,136		0,136
R <sub>se</sub>			0,130		0,130
$\Sigma$ R			6,612		2,269

R <sub>øvre</sub>	5,640
$\lambda_d$	0,043
R <sub>sjikt</sub>	4,690
R <sub>nedre</sub>	5,421
<b>U-verdi</b>	<b>0,181</b>

Tabell 2: Utregning av U-verdi for inhomogene sjikt.



Figur 6: Egenkomponert illustrasjon av sjikt i vegg.

Tabell 2 illustrerer hvordan et oppsett for å regne ut U-verdi kan settes opp. De ulike sjiktene er illustrert i figur 6. Dimensjonen deles på lambda, som gir R for de ulike sjiktene. Isolasjon er det inhomogene sjiktet og regnes med en treandel på 9 %. For å regne U-verdi for inhomogene sjikt blir følgende formler benyttet (SINTEF, 2018):

$$R_{\text{øvre}} = \frac{1}{\frac{f_a}{R_{\text{tot},a}} + \frac{f_b}{R_{\text{tot},b}}} = \frac{1}{\frac{91\%}{6,612} + \frac{9\%}{2,269}} = 5,64 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$\lambda_d = f_a \cdot \lambda_a + f_b \cdot \lambda_b = 91\% \cdot 0,034 + 9\% \cdot 0,130 = 0,043 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$R_{\text{sjikt}} = \frac{d}{\lambda_d} = \frac{0,200}{0,043} = 4,690 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{nedre}} &= R_{\text{si}} + R_1 + R_2 + R_{\text{sjikt}} + R_4 + R_5 + R_{\text{se}} \\ &= 0,13 + 0,06 + 0,03 + 4,69 + 0,245 + 0,136 + 0,13 = 5,421 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \end{aligned}$$

$$U\text{-verdi} = \frac{1}{\frac{R_{\text{øvre}} + R_{\text{nedre}}}{2}} = \frac{1}{\frac{5,64 + 5,421}{2}} = 0,181 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

U-verdiene som benyttes i et prosjekt styres av energikravene som er satt, enten det er minimumskravene i TEK eller strengere krav som eksempelvis stilles til passivhus. For småhus og boligblokker kan man bruke U-verdier i henhold til energiltaksmetoden i TEK17, som krever U-verdier som er lavere enn minimumskravene. Omfordeling av kravene er tillatt, slik at man kan velge å ha bedre U-verdier på enkelte bygningsdeler for å oppfylle andre energikrav (Geving, 2021, s. 80). Dette kan være gunstig for å holde dimensjonene på veggkonstruksjonene nede. Gulv på grunn kan også ha redusert dybde ved å benytte minimumskravet. Isolasjonstykkelse kan forbedres ved å bruke bedre isolasjonsmaterialer og bindingsverk med kuldebrytende lag (Geving, 2021, s. 81).

### 2.3.1 U-verdi vinduer

Vinduets U-verdi er en avgjørende faktor for bygningers energieffektivitet, og kan både måles og beregnes. U-verdien til et vindu er avhengig av flere faktorer, inkludert rutens U-verdi, karm-/rammeprofils U-verdi, arealforholdet mellom rute og karm/ramme og kuldebroer mellom vinduets komponenter (Geving, 2021, s. 89).

For moderne vinduer er karm-/rammeprofils U-verdi vanligvis dårligere enn selve ruten, som betyr at ruter med mindre areal har dårligere U-verdi enn ruter med større areal. Fastkarm vinduer har mindre rammeprofil enn åpningsvinduer, som medfører at U-verdien er lavere for fastkarm vinduer (Geving, 2021, s. 89).

I vinduer med godt isolerte karm- og rammeprofiler bestemmes U-verdien i hovedsak fra rutens U-verdi. Dette avhenger av senter U-verdi og randtapet, som oppstår ved at avstandsprofilen danner en kuldebro. Ved å forbedre avstandsprofilen med en lav kuldebroverdi vil rutens U-verdi bli redusert. Senter U-verdi bestemmes utfra antall glass, hulromtykkelse, type glass og lavemisjonsbelegg (Geving, 2021, s. 90).

For å tilfredsstille dagens krav til U-verdi benyttes vanligvis trelagsruter med gassfylling og lavemisjonsbelegg. Dette gir muligheten for å oppnå en U-verdi på under  $0,8 \frac{W}{m^2K}$  for hele vinduet. Imidlertid kan det være utfordrende å oppnå denne verdien for åpningsvinduer med mye karm-/rammeareal, og dermed kan firelagsruter vurderes som et alternativ. Dersom man ønsker å forholde seg til minimumskravet til dører og vinduer etter TEK17 kan man benytte vinduer med U-verdi på  $1,2 \frac{W}{m^2K}$  (Geving, 2021, s. 90).

### 2.3.2 U-verdi vegg

Bindingsverk er den konstruksjonsformen som er mest utbredt for yttervegger i Norge, både for småhus og større bygninger (Bøhlerengen, 2009, s. 57). Når det gjelder U-verdi er det verdt å merke seg at bindingsverk i yttervegger og tak har like egenskaper. U-verdien og isolasjonstykkelsen er hovedsakelig avhengig av flere faktorer, inkludert andelen treverk, type isolasjon og bindingsverk.

Det er viktig å ta hensyn til treandelen i veggens når man vurderer U-verdien. Dette skyldes at treverket har en høyere termisk konduktivitet enn isolasjonen, som er på rundt  $0,12 \frac{W}{mK}$ .

Treverket fungerer dermed som kuldebroer som øker veggens U-verdi. For eksempel vil en isolasjonstykkelse på 300 mm kunne gi en U-verdi mellom ca. 0,13 og  $0,20 \frac{W}{m^2K}$ , avhengig av treandelen. Vegger med lav treandel, ofte rundt 9 %, er typisk for småhusvegger med få vinduer og dører, da en slipper å bruke treverk på losholter og forsterkning rundt vinduer. Økning av stenderdimensjon fra 36mm til 48mm vil føre til en økning i treandelen på 3 %, ergo høyere U-verdi. I den andre enden av skalaen er det yttervegger med stor treandel, der en typisk prosentandel kan være 36 %. Det er representativt for et stort næringsbygg med høy takhøyde, som ofte har mye vinduer og derav større andel treverk (Geving, 2021, s. 82).

### 2.4 Isolasjon

Yttervegger kan forbedres ved å etterisolere dem enten fra utsiden eller innsiden. Valg av etterisoleringsteknikk bør vurderes i sammenheng med andre tiltak som planlegges, for eksempel utskifting av ytterkledning eller vinduer.

Etterisolering fra utsiden kan gi bedre resultater når det gjelder å redusere kuldebroer og forbedre fuktsikringen. Dette skyldes at den eksisterende kledningen fjernes, og eventuelle skader eller feil kan oppdages og repareres samtidig. Ulempen er at denne metoden kan være dyrere og mer arbeidskrevende (Bøhlerengen, 2009, s. 57).

Etterisolering fra innsiden kan være enklere og billigere, men kan føre til økt risiko for fuktproblemer og kuldebroer hvis det ikke utføres riktig. Det kan også føre til mindre bruksareal og estetiske utfordringer, spesielt hvis det er behov for å fjerne og erstatte eksisterende innvendige overflater (Bøhlerengen, 2009, s. 58).

For å bedre U-verdien i bygninger må det utføres tiltak for å redusere varmetapet i klimaskjermen. Isolering er et slikt tiltak som er effektivt og gunstig. En effektiv isolasjon kan bidra til å redusere kostnadene for oppvarming og kjøling, samt redusere bygningens karbonavtrykk. Isolasjon bidrar også til et forbedret innneklima og reduserer støy fra omgivelsene.

Mineralull isolasjon er en av de mest utbredte alternativene som brukes rundt om i Norge. Mineralull er produsert ved å smelte og spinne mineralullfiber fra eksempelvis steinull eller glassfiber. Disse fibrene er deretter bundet sammen med et bindemiddel for å danne et fast og fleksibelt isolasjonsprodukt (Hansen, 2019).

Fordeler ved bruk av mineralull inkluderer dens høye motstandsdyktighet mot brann, varmemotstand og støy. Det er et rimelig og lett tilgjengelig produkt, samtidig som det tilbyr god brukervennlighet. I mange situasjoner kan det være begrensinger på ønsket tykkelse for isolering av vegger eller tak, og det kan være vanskelig å oppnå ønsket tykkelse med vanlig mineralull. Som tidligere nevnt har mineralull en varmekonduktivitet på  $0,034 \frac{W}{mK}$ , som begrenser ytelsen til isolasjonen. Imidlertid kan andre typer isolasjon, som vakuumisolasjonsplater (VIP) og plastisolasjoner (PIR), oppnå en lavere konduktivitet. Ved bruk av PIR med lavere varmekonduktivitet kan man oppnå samme isolasjonsytelse med en redusert tykkelse. Isolasjonssjiktet kan reduseres med 30-40 % sammenlignet med mineralull, parallelt som det opprettholder samme U-verdi (Geving, 2021, s. 87). Dette kan være gunstig i situasjoner der det er begrenset plass til isolering eller der man ønsker å redusere byggekostnadene ved å bruke mindre dimensjoner.

For å oppnå en betydelig reduksjon i isolasjonstykkelsen og samtidig opprettholde en lav U-verdi, er VIP det mest effektive kommersielt tilgjengelige produktet. VIP består av en porøs kerne som er pakket inn i en laminert folie som er robust og lufttett. Deretter blir luften i panelet evakuert for å skape et vakuum. Dette gir en varmekonduktivitet på ca.  $0,004 \frac{W}{mK}$  midt på panelet, som er omtrent 8-10 ganger bedre enn mineralull (Geving, 2021, s. 87). Vakuumisolasjon kan ha flere fordeler i forhold til andre isolasjonsmaterialer. På grunn av den lave varmegjennomgangen kan vakuumisolasjon gi en betydelig bedre isoleringsevne enn mer konvensjonelle isolasjonsmaterialer, som for eksempel mineralull. I tillegg tar vakuumisolasjonen svært liten plass og kan dermed gi mulighet for en slankere konstruksjon



og større indre romareal (Geving, 2021, s. 87). Imidlertid kan vakuumisolasjon også ha noen ulemper og utfordringer. Vakuumisolasjon er ofte ikke like brukervennlig, og enkelte installasjoner kan kreve spesialkompetanse og spesialverktøy. Selve essensen for vakuumisolasjon er å holde en god og tett forsegling. Hvis vakuumkjernen punkterer eller er dårlig tett vil det kunne ha en betydelig reduserende innvirkning på isoleringseffekten (Jelle, 2011, s. 2552). Randsonen av panelet representerer en kuldebro som gir en høyere termisk konduktivitet for hele panelet, noe som kalles ekvivalent varmekonduktivitet. Det vil være en aldringseffekt der luft og vanddamp diffunderer inn i panelet over tid. Etter noen år vil derfor ekvivalent konduktivitet øke noe, estimert til ca.  $0,008 \frac{W}{mK}$  etter 25 år (Geving, 2021, s. 87). Det finnes ingen klare regler for dette, men en designverdi på  $0,007 \frac{W}{mK}$  vil være naturlig å benytte for VIP. Dette betyr at man kan klare seg med tilnærmet en femtedel av vanlig konvensjonell isolasjonstykkelse for lik U-verdi.

Valg av etterisoleringsteknikk avhenger av en rekke faktorer, som bygningstype, tilstand, lokalisering og budsjett. En grundig vurdering av bygningens tilstand og behov bør gjøres før man bestemmer seg for hvilken etterisoleringsteknikk som passer best.

## 2.5 Teknisk utstyr

Oppvarming av hus er en viktig faktor for å sikre komfortable og trygge boforhold. Det finnes flere forskjellige oppvarmingskilder, og valget av oppvarmingssystem vil i stor grad avhenge av faktorer som klima, boligstørrelse, kostnader og personlige preferanser. Fra tradisjonelle metoder som vedovner til mer moderne varmesystemer som varmepumper og solenergi, finnes det en rekke alternativer å velge mellom.

Vedovner er ofte brukt som oppvarmingskilder i norske hjem. Det er store variasjoner i effekt og virkningsgrad, som avhenger av type og alder. En moderne og lukket ovn vil kunne avgi ca. 5-6 kW og ha en virkningsgrad på rundt 80 % (Valmøt, 2018).

I nyere tid har tiltak som å installere varmepumpe økt i popularitet. Dette skyldes at det er en rimelig løsning som gir en forholdsvis god reduksjon av energibehovet. Prinsippet med varmepumpe er at det bruker mindre energi for å produsere varme enn det den avgir. For å sette det i perspektiv har en typisk varmepumpe en årsvarmefaktor på rundt 5. Dette tilsier at

det brukes 1 kWh strøm for å produsere 5 kWh med varmeenergi under optimale forhold (Energismart, 2021).

Montering av solceller, gjerne på tak, er en metode for å utnytte naturlig energi på en miljøvennlig måte. Dette gjør at man kan dekke deler av boligens energibehov, samt at strømmen som ikke brukes selv kan selges til strømmettet og dermed generere inntekt (Enova, 2022). Et solcelleanlegg kan være en stor investering, men vil som oftest tjene seg inn over lengre tid grunnet energibesparelser og inntekter.

I et bra utviklet bygg stilles det strenge tetthetskrav (se tabell [1](#)), noe som medfører at god luftutskifting er viktig. Å benytte et balansert ventilasjonsanlegg vil være gunstig fordi det varmegjenvinner luften og minsker varmeutslipp gjennom ventilasjonen. Dette gir økt kvalitet på inn klima og er energibesparende.

## **2.6 Statlig støtte**

Regjeringen subsidierer midler til energieffektivisering av boliger, næringsbygg og offentlige bygg. Dette er et satsingsområde for regjeringen, som ønsker å kutte bruken av kraft som går til husholdninger. Energieffektiviserende tiltak kan være kostbare, men ved å gi støtte intensiverer regjeringen gjennomføringen av slike tiltak. I 2021 gikk ca. 50 % av det totale strømforbruket i Norge til bygg. Lavere energiforbruk i bygg vil bidra til å sikre tilstrekkelig med kraft og en forutsigbar kraftforsyning i årene fremover (Olje-og energidepartementet, 2022).

EU har lagt press på medlemslandene for å oppgradere dagens bygninger for å bremse klimagassutslippene. Det kreves at minimum 15 % av de lavest ytende boligene i hvert medlemsland går fra energiklasse G til F innen 2030 (European Union, 2021). For Norge innebærer det at 210 000 boliger må oppgraderes innen 2030. De forskjellige nivåene på skalaen innehar krav til bygningens energibehov, altså hvor mange kWh som trengs per kvadratmeter for normal bruk. Verdiene for å oppnå de forskjellige energikarakterene er angitt i figuren [under](#).



Figur 7: Egenkomponert illustrasjon av energikarakterer.

### 2.6.1 Enova

Enova er et statlig foretak, som er lagt under Klima- og miljødepartementet. De har som samlet mål om å sørge for at Norge som nasjon oppnår klimaforpliktelsene sine (Klima- og miljødepartementet, 2018). Fremgangsmetoden for å oppnå dette er gjennom statlig støtte og subsidier, der en kan søke om økonomisk støtte hvis man oppnår visse krav. Slik støtte kan oppnås med enkelttiltak som installering av balansert ventilasjon, til mer omfattende oppgraderinger av bygningskroppen. Det stilles krav til at arbeid blir utført og dokumentert av fagkyndige. For oppgradering av bygningskroppen deles det inn i 3 nivåer:

- Energinivå 1, tilnærmet passivhusstandard.
- Energinivå 2, tilnærmet lavenerginivå.
- Energinivå 3, tilnærmet TEK10 kravene.

Omfanget av subsidiene gjenspeiler seg til hvilket nivå man oppnår. Det vil ikke være mulig å få mer støtte enn 25 % av totalkostnaden ved oppgradering til de ulike energinivåene. Den maksimale støtten for hvert nivå er: 150 000 kr ved energinivå 1, 125 000 kr ved energinivå 2 og 100 000 kr ved energinivå 3 (Enova, 2016d).

For å oppnå støtte fra Enova må det overholdes noen minimumskrav. Oppgradert bolig kan ikke overskride krav til varmetapstall og årlig netto energibehov som vist i tabell 3, samt redusere det totale varmetapstallet med minst 30 % (Enova, u.å.). Tabellen er hovedsakelig utformet med tall fra Enova sin nettside, samt krav fra NS 3700 *Kriterier for Passivhus og lavenergibygninger* (Standard Norge, 2013).

Kategori	Energivå 3	Energivå 2	Energivå 1
<b>U-verdi tak</b>	0,18	0,12	0,09
<b>U-verdi vegg</b>	0,22	0,16	0,11
<b>U-verdi gulv på grunn</b>	0,18	0,18	0,11
<b>U-verdi vinduer og dører</b>	1,6	1,2	0,8
<b>Lekkasjetall</b>	2,5	1,5	0,6
<b>Årlig netto energibehov</b>	120 + 1600/A	100 + 1600/A	120 + 1600/A
<b>Varmetapstall</b>	0,83	0,65	0,48

Tabell 3: Anbefalte krav til energivåene.

Tallene i tabellen [over](#) er ikke avgjørende for om tiltakshaver får støtte, men er ment som en veileder for å oppnå de gitte energivåene. Om man får støtte fra Enova beror på en helhetsvurdering av oppgraderingen.

## **Kapittel 3. Metode**

Kapittel 3 tar for seg oppgavens metodiske tilnærming, og vil belyse hvordan data og annen informasjon er innhentet for å besvare vår problemstilling. I kapittelet vil det begrunnes valg av vitenskapsteoretisk bakgrunn, forskningsdesign, anvendte metoder og forskningens kvalitet og etikk.

### **3.1 Vitenskapsteoretisk bakgrunn**

Oppgavens metodiske tilnærming er kvalitativ undersøkelse. Ved å benytte seg av en kvalitativ undersøkelsesform, studeres store mengder informasjon om få avgrensede caser eller enheter (Fangen, 2022). Denne oppgaven bygger videre på en caseanalyse, hvor informasjon blir innhentet gjennom ulike tester og analyser av caseobjektet. Den kvalitative undersøkelsen vil bli komplimentert med en kvantitativ spørreundersøkelse, noe som kan bidra til større empirisk og teoretisk innsikt (Grønmo, 2012).

### **3.2 Forskningsdesign**

Ifølge Yin er casestudie en av de mest krevende forskningsdesignene, ettersom det innebærer å innhente omfattende og dybdegående data om enkelttilfeller (Yin, 2018, s. 3). Formålet med casestudien er å tilegne en dypere forståelse av hvordan bygningskroppen kan energieffektiviseres, og hvordan tiltakene kan kostnadsoptimaliseres. I denne oppgaven er caset valgt for å være representativt for boliger i store deler av landet. Ettersom testene utføres på caseobjektet, som befinner seg på Vestlandet, vil ikke casestudien være statistisk generaliserbar for hele landet grunnet temperatur- og klimaforskjeller.

Dette innebærer at casestudiet er analytisk generaliserbart (Yin, 2013, s. 325–326). Yin beskriver dette som at casestudier kan anvendes til nye case for å videreutvikle disse og gjøre dem gjeldende for nye situasjoner. For vår casestudie innebærer dette at generaliserbar data kan benyttes i ny forskning, for å besvare om våre konklusjoner vil gjelde over flere geografiske avgrensninger i landet.

### **3.3 Litteratursøk**

Grunnlaget for teorikapitlet er dannet på bakgrunn av litteratursøk. Denne delen av forskningen er svært viktig at ligger til grunn for å gi et nødvendig teoretisk utgangspunkt av oppgaven, samt for å besvare problemstillingen. For å tilegne oss informasjon og kunnskap til

å besvare problemstillingen har vi hovedsakelig benyttet Google Scholar, Oria, SINTEF Byggforsk, Standard Norge og relevante fagbøker. Dette er ansett som troverdige søkemotorer og databaser, men det vil fortsatt være viktig å være kritisk til innhentet informasjon. Ved å benytte disse skaper vi godt grunnlag for videre forskning.

### 3.4 Tester

For å gjennomføre en casestudie er det nødvendig å innhente mye data om caseobjektet for å kunne analysere disse. For å innhente data fra caset utførte vi ulike tester av boligen for å avdekke bygningens tilstand. Dataene som ble innhentet vil senere i oppgaven analyseres og bearbeides for å kartlegge hvilke områder som vil være hensiktsmessig å utbedre. For å kunne avdekke hvordan bygningens varmeegenskaper er gjennomførte vi trykktest og termografering av bygget.

#### 3.4.1 Trykktest

Ved å utføre en trykktest kan man avdekke hvor tett huset er for luftlekkasjer. Vi benyttet Minneapolis BlowerDoor med DG-700 for å måle lufttettheten i henhold til NS-EN ISO 9972:2015 (Standard Norge, 2015). Systemet består av en lufttett duk med en ramme, et måleapparat og en vifte. Rammen med duken settes inn slik at den tetter hele døråpningen, som vist i figur 8. Viften monteres i dukens åpning og apparatet kobles til. Deretter startes viften slik at den skaper et over- eller undertrykk inne i bygget (Blowerdoor GmbH, u.å.).

Vi kalibrerte apparatet til å måle ved en trykkforskjell på 50 Pa mellom inne og ute. Når viften startes måler apparatet hvor stor luftstrøm som må blåses gjennom viften for å opprettholde trykkforskjellen på 50 Pa. Resultatet indikerer hvor mye luft som siver ut gjennom sprekker og utettheter i bygningskroppen. På forhånd tettet vi alle naturlige åpninger i bygget, som ventilasjon og avtrekksvifter, slik at luftskiftet gjennom disse ikke ble inkludert i målingen. Luftlekkasjemengden, som er resultatet fra målingen, kan brukes videre til å regne ut byggets lekkasjetall og måles opp mot tekniske krav.

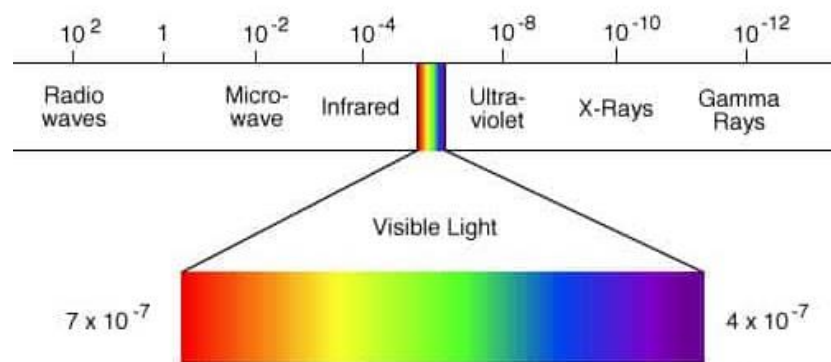


Figur 8: Privat foto av BlowerDoor.

### 3.4.2 Termografering

Termografering er en metode som brukes for å identifisere og lokalisere termiske uregelmessigheter i bygningens klimaskjerm. Med et termograferingskamera kan man vise og gjengi temperaturfordelingen på en bygningsdel. Kameraet fanger opp infrarød stråling (IR-stråling) og produserer et bilde basert på strålingsintensiteten til objektene som undersøkes. Med denne metoden kan man avdekke hvor bygningens varmetap oppstår og deretter undersøke årsaken til disse (Standard Norge, 1998, s. 3).

Infrarød stråling er elektromagnetiske bølger med en bølgelengde fra 0,7  $\mu\text{m}$  til 1 mm. Disse ligger utenfor det synlige spekteret, som illustrert i figuren [under](#). Alle objekter som har en høyere temperatur enn det absolutte nullpunkt sender ut IR-stråling. Jo høyere temperatur objektet har, jo mer intens er strålingen den sender ut (Fevang, 2004).



Figur 9: Elektromagnetisk spekter (Anderson, 2019).

Bygningskroppen har en del kritiske punkter som er viktig å undersøke. Områdene som typisk slipper ut varme, og som kan være interessant å se nærmere på er beskrevet i kapittel [2.2](#). Hjørner og området rundt vinduer og dører er typiske eksempler på bygningsdeler som gir utslag ved termografering. Utfører man termografering samtidig som trykktesting, vil utslagene være større ved områder med luftlekkasje.

NS-EN 13187 (Standard Norge, 1998) skal legges til grunn ved analysering av termogrammer. Ved hjelp av standarden vil man kunne bedømme typen og omfanget av eventuelle feil. Måten man kan identifisere type feil på er ved å sammenligne resultatene med referansetermogrammer gitt i tillegg B og C i standarden (Standard Norge, 1998, s. 13–14). Her er det gitt eksempler på karakteristiske mønstre ved termografering, og hvilke av disse

som er avvik og hvilke som er vanlige svakheter i en “feilfri” konstruksjon. Et eksempel på en vanlig svakhet i bygg er hjørner. Dette vil være en geometrisk kuldebro, noe som er vanskelig å unngå selv i en “feilfri” konstruksjon.

### **3.5 Analyser**

Analyser er en essensiell del av beslutningstakingen for diverse bransjer og fagfelt. De spiller en avgjørende rolle i å utvikle en dypere forståelse av komplekse problemer og sammenhenger. Analysene kan hjelpe med å avdekke sammenhenger og avhengigheter som ellers ville være skjult eller uklare. Det kan også gi innsikt i potensielle utfall og konsekvenser av ulike beslutninger. Det skal videre i dette kapitlet legges frem forklaringer av analyser som er valgt å tas i bruk for denne studien.

#### **3.5.1 Simien**

Simien er en norskutviklet programvare som ble lansert i 2008. Den er validert etter NS-EN 15265 og harmonisert til NS 3031. Simien bruker dynamiske simuleringer for å beregne energibehov, verifisere inneklimate, dimensjonere oppvarmingsanlegg, ventilasjonsanlegg og romkjøling. Programvaren er designet for å være brukervennlig og kan brukes av blant annet arkitekter, ingeniører og bygningsfysikere. Simien har også muligheten til å evaluere bygningen mot energikravene i TEK17 og NS 3700, som er de gjeldene norske forskrifter for energieffektivitet i bygg (Simien, 2018).

En Simien beregning blir utført ved å plote inn innhentet data om bygget. Det vil ofte forekomme usikkerhet/mangelfull informasjon ved innhenting av data. Da vil det være aktuelt å benytte seg av erfaringstall og gjøre eventuelle tilnærminger. I tillegg har programvaren standardiserte verdier på enkelte parametere, samt forslag til typiske konstruksjoner. Eksempelvis ved en veggkonstruksjon er det forhåndsdefinerte alternativer, men man kan også overstyre dette med egendefinerte U-verdier.

Med Simien kan brukere få en nøyaktig og omfattende analyse av energibruken i bygg, og dermed bidra til å redusere energikostnadene og miljøpåvirkningen. Programmet er en verdifull ressurs for å optimalisere byggdesign og energieffektivitet.



### 3.5.2 Økonomi

For å kunne analysere kostnadene knyttet til energieffektivisering lagde vi to kostnadsanalyser. Den ene kartlegger strømprisens utvikling de neste årene og tar utgangspunkt i boligens nåværende strømforbruk og antatt strømforbruk etter oppgradering. Den andre gir brukeren oversikt over kostnader knyttet til oppgradering til ulike energinivåer for sin bolig.

For å kunne sammenligne og se på hvilke konsekvenser ulike tiltak vil ha, benyttet vi Excel til å lage en interaktiv kostnads kalkulator. I dette regnearket ønsket vi å la brukere kunne plote inn ulike data for sin bolig. Denne informasjonen brukes videre for å beregne priser for å oppnå de ulike energikravene og sammenligne forskjellige løsningsmetoder.

Ved å lage en strømkalkulator kunne vi beregne antatt årlig besparelse på strømkostnader før og etter energieffektiviseringen av boligen. På denne måten kunne vi ved å benytte dataene fra Simien analysene undersøke hvilke tiltak som ville gi størst økonomisk gevinst i form av reduserte strømkostnader.

### 3.5.3 Spørreundersøkelse

For å komplimentere casestudien ble det gjennomført en kvantitativ datainnsamling i form av en digital spørreundersøkelse. Ved en kvantitativ undersøkelse samles data fra et større publikum som videre kan analyseres ved tall eller andre måleenheter (Grønmo, 2012). Den kvantitative undersøkelsen ble utformet i samspill med veileder og Sikt sin veiledning for innhenting av anonym data (Sikt, 2023). Henvisning til undersøkelsen ble printet ut med QR-kode og plassert i postkassene til kandidater som bodde på det aktuelle området. Ved å sende undersøkelsen ut på denne måten, baserer vi datainnhenting på *skjønnsmessig utvalg*, hvor de enhetene vi tror er mest representative blir trukket ut til å svare (Jacobsen, 2005, s. 293). Vi delte totalt ut 190 henvisninger til undersøkelsen, og på denne måten ønsker vi å samle inn data som er representativt for vår case.

Formålet med undersøkelsen var å kartlegge respondentenes holdning til energieffektivisering av sin bolig. Spørsmålene baserte seg på hvilke energieffektiviserende tiltak kandidatene ville foretatt, og hvor stor kostnad de var villige til å investere (se vedlegg 1). Dataen skal videre brukes til å støtte valg av løsning for vår case.

### **3.6 Datakvalitet**

Dette delkapitlet omhandler kvaliteten ved forskningsmetoden. Validiteten og reliabiliteten vil bli vurdert, og eventuelle usikkerhetsmomenter ved testene evalueres. Det er viktig å være kritiske til dataene man har hentet inn, og vurdere påliteligheten av disse.

#### **3.6.1 Validitet og reliabilitet**

Validitet avgjør om forskningen måler det den var ment til å måle, og om målemetodene er nøyaktige. Reliabilitet refererer til påliteligheten av forskningsresultatene og om de kan generaliseres til andre caser eller områder (Golafshani, 2003, s. 601–602).

Ved trykktesting vil det være noen usikkerheter som må legges til grunn ved analyse av dataene. Værforholdene kan spille inn på testresultatene. For eksempel ved kraftig vind vil det være vanskeligere å holde et jevnt trykk på 50 Pa som vil føre til svingninger i målingene. Det er også viktig å tette og stenge igjen all form for naturlig ventilasjon og avtrekk, da dette er kjente lekkasjepunkter i bygget. For å sikre gode resultater er det viktig at det gjennomføres flere avlesninger på apparatet, og at gjennomsnittet av disse blir brukt til videre beregninger. Feil montering og bruk kan føre til usikre målinger. Det er derfor nødvendig å sette seg inn i bruken av utstyret og kvalitetssikre at utstyret er kalibrert, innstilt og riktig montert før bruk.

Det er også noen usikkerhetsmomenter som må vurderes ved tolkning av resultatene fra termografering. Emissivitet, atmosfæriske forhold og avstand til de målte objektene er faktorer som kan påvirke målingene (Kylili et al., 2014). Emissivitet er et mål på hvor godt et objekt utstråler infrarød stråling. Faktorer som materiale, overflatetekstur, vinkel, bølgelengde og overflatetemperatur har innvirkning på emissiviteten. Atmosfæriske forhold som lufttemperatur, luftfuktighet og vind kan påvirke nøyaktigheten av målingene. Er det for eksempel mye vind ute, vil temperaturforskjellene grunnet luftlekkasjer bli mer tydelige og få større utslag. Temperaturen og fuktigheten av luften kan ha innvirkning på strålingsmengden fra et objekt og gjøre det vanskelig å utføre en nøyaktig måling. Avstanden fra termograferingskameraet til objektet som måles har innvirkning på kvaliteten av bildet. Målinger som gjøres med kort avstand har høyere detaljnivå og oppløsning (Kylili et al., 2014).

Ved gjennomføring og analyse av en kvantitativ spørreundersøkelse er det viktig å vurdere validiteten og reliabiliteten. Hovedformene for usikkerhet ved en undersøkelse er utvalgs-, svarprosent-, forståelses- og bearbeidingsfeil (Johnson, 2012). Utvalgsfeil omhandler målgruppen. Det skal vurderes om riktige kandidater er representert for å måle undersøkelsens formål, og at de potensielle kandidater i utvalget har mulighet til å svare. Svarprosenten må være tilfredsstillende slik at det sikres god reliabilitet i de innhentede dataene. Det er viktig at spørsmålene er formulert tydelig slik at spørsmålene blir oppfattet likt av distributør og respondent. For å unngå upålitelig data kan man inkludere svaralternativer som *vet ikke* eller muligheten til å unnlate å svare. Dette medfører at respondentene ikke blir tvunget til å svare eller velge et alternativ som ikke er passende (Jacobsen, 2005, s. 256). Ved bearbeiding av resultatene er det viktig at dataene blir presentert og analysert objektivt slik at dataene ikke blir manipulert til fordel for undersøkelsens hensikt.

## Kapittel 4. Resultater og diskusjon

I dette kapittelet vil vi presentere, drøfte og diskutere resultater fra testene og undersøkelsene våre. Det vil bli lagt frem analyser som er brukt for å svare på problemstillingen.

Avslutningsvis presenterer vi ulike løsningsforslag for boligen og diskuterer styrker og svakheter ved hver av dem.

### 4.1 Befaring

For å få en oversikt over byggets tilstand og utforming utførte vi en befaring av boligen. På forhånd hentet vi ut gamle plantegninger (se vedlegg 2) slik at vi hadde en viss formening om boligens utforming og størrelse. Hovedformålet med befaringsen var å innhente data som vi videre benyttet oss av i analyser og beregninger. Datainnhenting ble gjort i form av observasjon, oppmåling, trykktest og termografering.

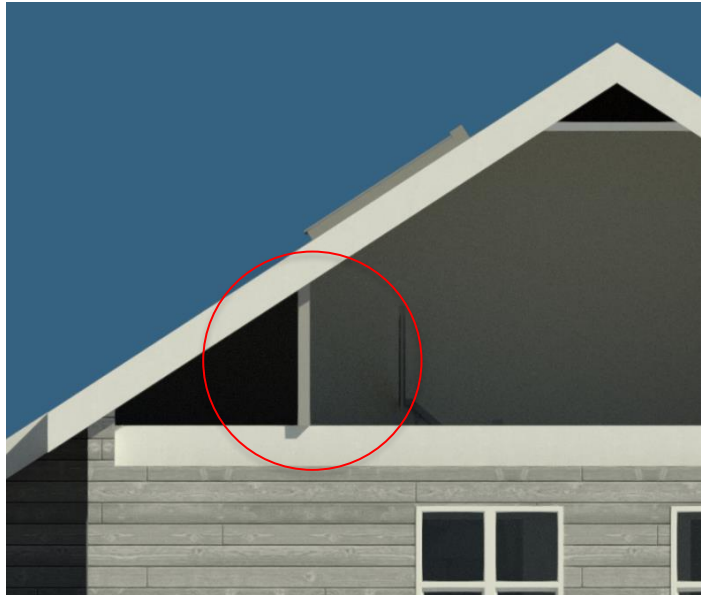
Ut ifra de gamle plantegningene skisserte vi opp utgangspunktet for oppmåling av bygget. 08.02.23 gjennomførte vi første befaring. Vi begynte med å måle opp og revidere skissene med nøyaktige mål. For å måle opp benyttet vi avstandsmåler, målebånd og tommestokk. Under oppmåling avdekket vi at ytterveggene hadde forskjellige tykkelser.

Dimensjonene på veggene varierte fra 15-20 cm mellom ulike yttervegger. Første og andre etasje hadde en total veggykkelse på 20 cm, mens loftet kun hadde 15 cm. Loftet er i nyere tid oppgradert til oppvarmet areal, og kun én yttervegg er en del av fasaden. Siden denne kun hadde 15 cm kan vi anta at første og andre etasje er lektet ut med 48x48 mm og er etterisolert. Vi kan dermed konkludere med at boligen består av bindingsverk oppbygd av 48x148 mm stendere.

De andre veggene på loftet er knevegger mot baksiden av gesimsen (se figur [10](#)). Disse veggene regner vi som yttervegger, til tross for at de ikke er direkte mot friluft. Det var luker i kneveggene slik at vi fikk tilgang til å måle tykkelsen. Kneveggene hadde kun en tykkelse på 73 mm. Isolasjonstykkelsen i taket var også lett tilgjengelig (se figur [11](#)). Her var det 100 mm mineralull.



Figur 10: Privat foto av knevegger.

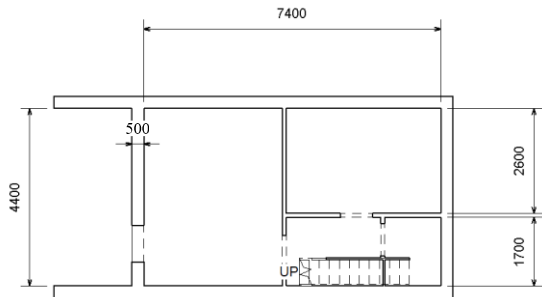


Figur 11: Illustrasjon av knevegg, laget i Revit.

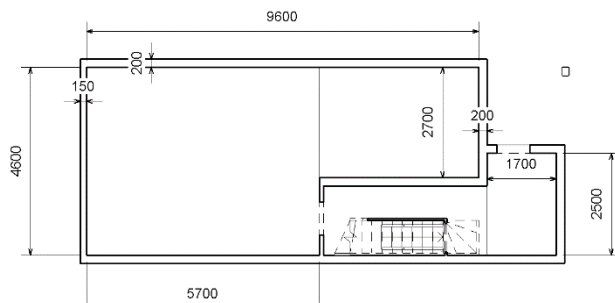
Kjellerveggen hadde en total tykkelse på 500 mm, og var bygd opp av betong med gips på innsiden. På grunn av årstallet det er bygd og bilder under oppføringen (se vedlegg 3), antar vi at betongen er uarmert. Siden det er gips på innsiden går vi ut fra at det er lektet ut og isolert med 100 mm. Dette vil være noe usikkert, men det er dette vi anslår som mest sannsynlig grunnet egne erfaringer og målinger.

Vinduenes og dørenes dimensjoner ble oppmålt. Dato fra produksjonsår ble avlest der det var mulig, og årstallene varierte fra 1992 til 2020. Mange av vinduene var av samme type og vi fikk minst én avlesning på hver vindustype, slik at vi kan anta produksjonsår.

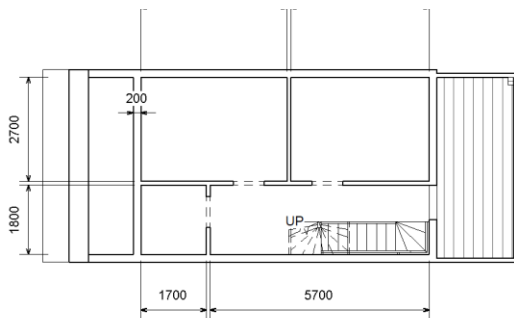
Ut ifra denne informasjonen kunne vi lage en nøyaktig modell av bygget i Revit (se figur [12](#), [13](#), [14](#) & [15](#)). Dette gjorde vi for å få en oversikt over bygget, samt muligheten til å regne ut oppvarmet bruksareal (BRA) og volum til bruk i videre beregninger.



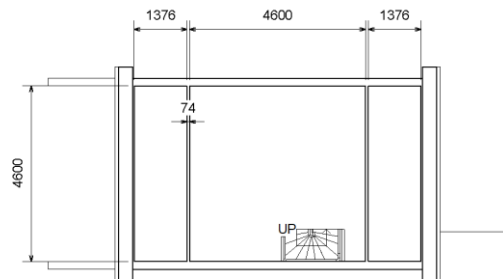
Figur 12: Plantegning av kjeller, laget i Revit.



Figur 13: Plantegning av førsteetasje, laget i Revit.



Figur 14: Plantegning av andreetasje, laget i Revit.



Figur 15: Plantegning av loft, laget i Revit.

#### 4.1.1 Trykktest

Under den første trykktesten fikk vi et resultat på  $3322 \frac{m^3}{h}$ . Ut ifra Revit modellen beregnet vi totalt innvendig volum av huset til  $305,5 m^3$ . Lekkasetallet blir følgende:  $n_{50} = \frac{V_{50}}{v} = \frac{3322 \frac{m^3}{h}}{305,5 m^3} = 10,9 h^{-1}$ . Luften i huset vil da skiftes ut 10,9 ganger per time ved et undertrykk på 50 Pa.

Trykktesten ble nøye utført og det ble tatt hensyn til de ulike usikkerhetsfaktorene. På forhånd ble alle naturlige åpninger og ventilasjon tildekket. For å sikre validiteten til resultatene ble det gjennomført en ny trykktest ved en ny befarings, hvor det manuelt ble lest av 31 målinger. På denne måten kunne vi avdekke om resultatene var rimelige og presise. Under den andre trykktesten fikk vi en luftlekkasjemengde på  $3800 \frac{m^3}{h}$  (se figur 16), som tilsvarer et lekkasetall på  $12,4 h^{-1}$ .

Lekkasetallet er betydelig høyere enn kravene fra teknisk forskrift i dag. Boligen er fra 1924, og er derfor bygget etter eldre byggeskikker. Dette området var også en del av en selvbyggerkoloni, der mye av byggearbeidet er utført av privatpersoner. Disse faktorene kan være grunnen til det høye lekkasetallet i bygget.

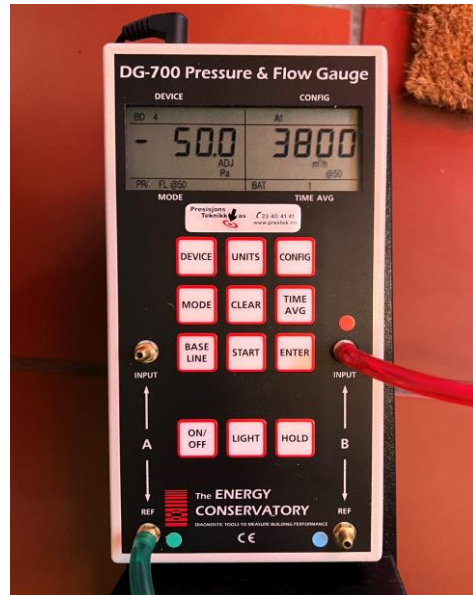
For å minske lekkasjetallet er det viktig med en tett klimaskjerm, der de viktigste elementene er dampsperre og vindsperre. Kritiske punkter for infiltrasjon er i overganger i bygningskroppen. Det er derfor viktig å tette alle skjøter og overganger.

Ettersom vi fikk et svært høyt lekkasjetall på begge befaringene, må vi se på hva som kan være grunnen til dette. Under begge befaringene observerte vi at lukene i kneveggene fikk stort trykk på seg og begynte å slå utover. Dette kan skyldes at bak kneveggene er det tilnærmet friluft gjennom

gesimsene. Når bygget da blir utsatt for et undertrykk på 50 Pa vil det bli sugd frisk luft gjennom gesimsen, som presser luft inn i bygget. Det kan derfor argumenteres for at dette er grunnen til det høye resultatet fra trykktesten, og at lekkasjetallet i realiteten vil være mye lavere da luften i dette området vil være tilnærmet stillestående.

Ved analysering av dataene ble det lagt til grunn de ulike faktorene som påvirker validiteten og reliabiliteten. For å sikre validitet av resultatene fra trykktesten ble det gjennomført en prøvetesting av utstyret dagen før befaring. Prøvetesten gikk ut på å sjekke at utstyret virket som det skulle og at alle komponenter var på plass. Under befaring 08.02.2023 strebet vi med å stabilisere viften til -50 Pa og vi fikk kun tatt én prøve under dette trykknivået. Ved denne befaringen hadde vi med oss et filmteam som skulle filme oss, og det kom også to håndverkere som skulle utføre arbeid i kjelleren. Viften måtte derfor monteres på verandadøren i andre etasje, og det vil også være usikkerhet rundt om alle innerdører var åpne under testen grunnet mange personer på prøveobjektet.

For å kvalitetssikre svaret fra denne prøven dro vi tilbake til caseobjektet den 10.03.2023 for å gjennomføre en ny trykktest av boligen. Denne gangen fikk vi montert utstyret i hoveddøren og fikk et stabilt trykknivå på -50 Pa hvor vi fikk tatt 31 prøver. Vi kunne derfor regne gjennomsnittet av disse prøvene og få større troverdighet til resultatene.



Figur 16: Privat foto av DG-700.

### 4.1.2 Termografering

Resultatene fra termograferingen viser at det er en rekke punkter i bygningskroppen med varmetap. Noe av det skyldes luftlekkasje, men også ting som kuldebroer, dårlig isolering og andre avvik i bygget. Under presenteres et utvalg av resultater fra termograferingen. Mulige årsaker til temperaturforskjellene vil bli diskutert og drøftet i hvert enkelt tilfelle. Alle termograferingene ble utført samtidig som trykktesten, ved 50 Pa trykkforskjell.

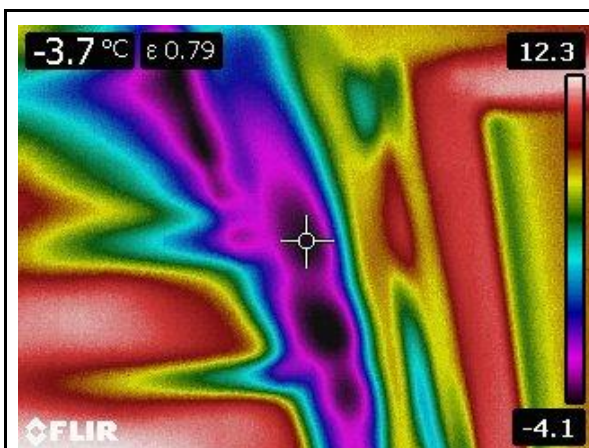


Figur 17: Termogram av vindu.

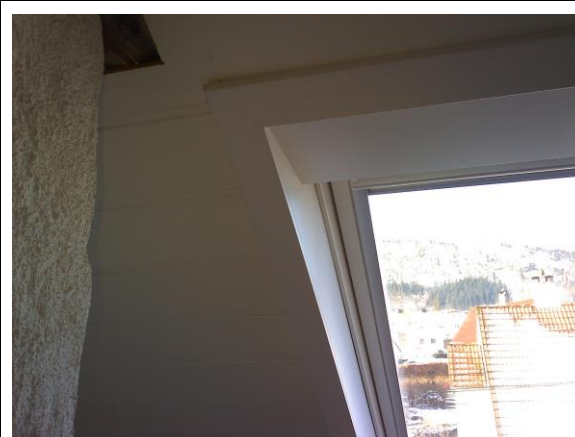


Figur 18: Privat foto av vindu.

Vinduet i gangen er en av de eldre i boligen. Ut ifra termogrammet i figur 17 ser man temperaturforskjell i overgangen mellom rute og karm. Det er forventet å se en varmforskjell i overganger i de fleste vinduer, som er en kjent svakhet. I dette tilfellet ser vi at det er noe uheldig varmeutslipp i hjørnet, markert med rød sirkel. Grunnen til dette kan være dårlig isolering i bakkant kombinert med at det er en geometrisk kuldebro.



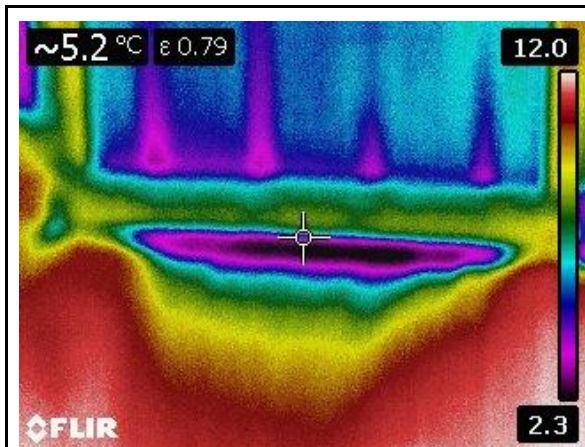
Figur 19: Termogram av takvindu.



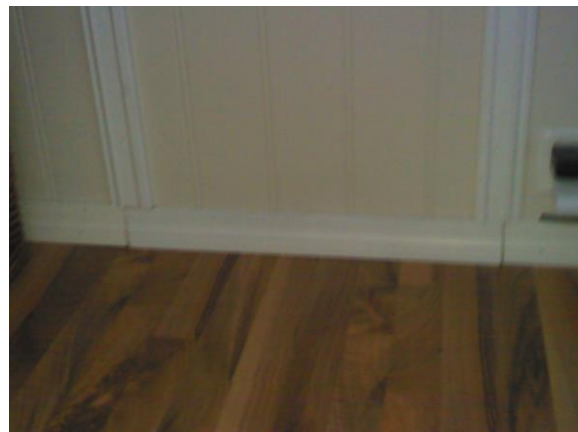
Figur 20: Privat foto av takvindu.



Termografering av takvindu (figur 19) viser en stor variasjon i temperatur. Vi ser at det største varmeutslippet skjer i området ved listverket rundt vinduet. Dette kan skyldes både luftlekkasje og dårlig utført isolering. Under trykktesten kjente vi at det trakk særlig fra dette området, noe som tilsier at varmforskjellen i termogrammet i hovedsak skyldes luftlekkasje.

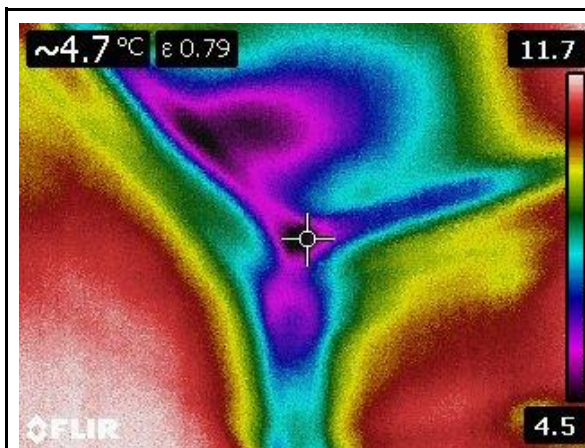


Figur 21: Termogram av luke.



Figur 22: Privat foto av luke.

Termogrammet i figur 21 er tatt ved undersiden av luke i knevegg. Her antar vi at temperaturforskjellene skyldes infiltrasjon. Dette antar vi på grunn av formen på temperaturbildet som ligner på en luftstrøm. Under trykktesten observerte vi også at dørene ble presset ut, og det var betydelig trekk fra undersiden. Termogrammet viser også at overflaten til luken et svakt punkt i seg selv. Dørene er kun laget av trepanel, uten isolasjon eller andre sjikt bak, noe som gir en høy U-verdi i forhold til resten av veggen.



Figur 23: Termogram av hjørne.



Figur 24: Privat foto av hjørne.

Termogrammet av hjørnet i gangen (figur 23) viser et klassisk tilfelle av en geometrisk kuldebro, som illustrert i figur 5. Svakheter som dette vil ofte forekomme og vil være vanskelig å unngå. Taket er på undersiden av balkongen, og illustrerer større varmetap enn på veggene. Det kan være diverse årsaker til dette. En mulig forklaring er at det er dårlig isolert i overgangen mellom vegg og balkong. Det kan også spekuleres i at det skyldes fuktinntrenging, siden det er et flatt tak hvor det er fare for oppsamling av vann.

Det er gjennomgående avvik i bygningskroppen som medfører varmetap. Dette er punkter som vil være nødvendig å utbedre ved en oppgradering. Områder hvor luftlekkasje er årsaken til varmetap bør man fokusere på at overganger er tett tilstrekkelig. Mangelfull isolering bør utbedres, samt gjennomføre nødvendige tiltak for eventuelle fuktskader.

#### **4.2 Analyse av spørreundersøkelse**

For å kunne benytte dataene fra undersøkelsen er det nødvendig å analysere og vurdere resultatenes validitet og reliabilitet, for å sikre troverdighet i svarene. Av de 190 utsendte henvisningene til undersøkelsen, fikk vi kun 24 svar. Dette er en svært lav svarprosent, og i henhold til Jacobsen (2005, s.300) bør svarprosenten være minst 50 % for å få et tilfredsstillende resultat. Analysen av dataene bør derfor ikke være avgjørende i henhold til vår konklusjon, men kan benyttes som et supplement til våre anbefalinger og vurderinger.

Resultatene fra undersøkelsen ligger vedlagt i vedlegg 4. 91 % av respondentene informerte om at de bodde i en boligtypologi tilsvarende vår case, altså tomannsbolig eller rekkehus, hvor alle var bygget før eller i tidsperioden 1920-1940. I forkant av undersøkelsen var det forventet at respondentene bodde i boliger som er bygget på 1920-tallet, da vi bevisst valgte å dele ut henvisninger til boliger som var en del av selvbyggerkolonien på Nymark. Dette gjør at vi har truffet en representativ målgruppe for vår case.

I løpet av de siste 10 årene, hadde 13 av respondentene gjennomført en større oppgradering av sin bolig, hvorav 76 % av disse gjennomførte energieffektiviserende tiltak. Dette tilsier at energieffektiviserende tiltak er noe respondentene er villige til å gjennomføre når de først gjør en større oppgradering. Resultatene viser også at omtrent halvparten av respondentenes boliger ikke har gjennomført en større oppgradering, noe som tilsier at det fortsatt finnes et stort potensial for energieffektiviserende oppgraderinger i dette området.

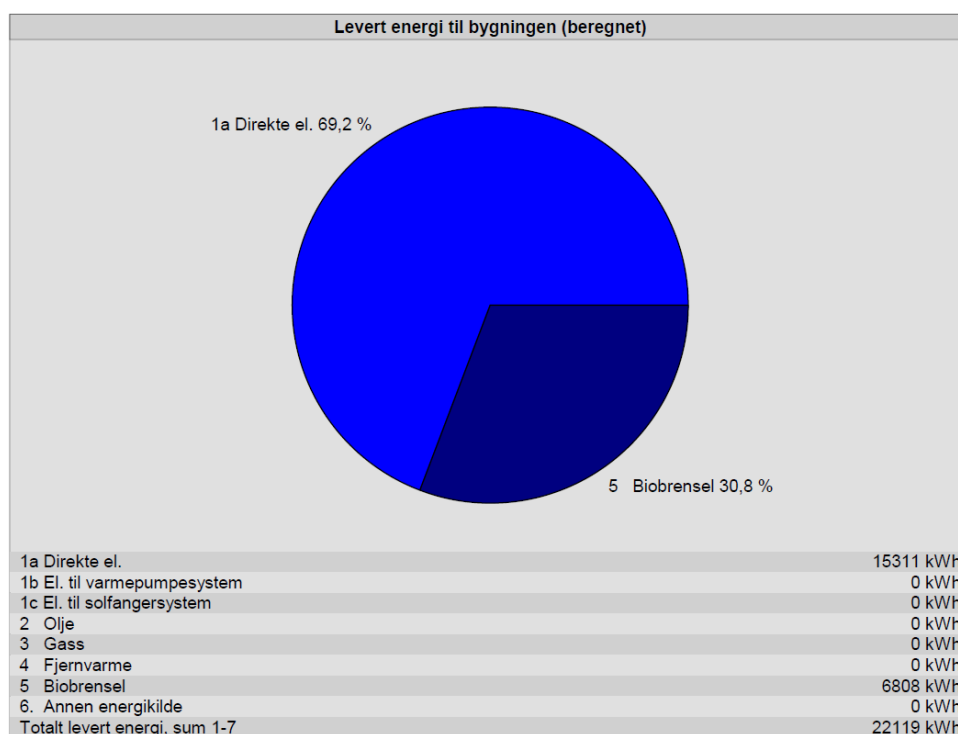
I undersøkelsens to siste spørsmål ønsket vi å kartlegge hvilke tiltak de ville gjort for å energieffektivisere sin bolig, samt hvor mye de hadde vært villig til å investere. Her var det stor variasjon i hvilke tiltak respondentene ville gjort. Kun 8 % av respondentene svarte *vet ikke*, noe som tilsier at de i stor grad har gjort seg opp tanker rundt hvilke tiltak de ville gjennomført i sin bolig. Dette tyder på at det er stor bevissthet rundt energieffektiviserende tiltak blant respondentene. Avsluttende spørsmål tok for seg hvor mye de var villige til å investere for å energieffektivisere sin bolig. Vi så en tydelig korrelasjon mellom de som hadde gjennomført en større oppgradering, og de som ikke var villige til å gjøre større investeringer. Dette er naturlig, da boligens energieffektivitet allerede har blitt forbedret og potensialet for å redusere energiforbruket er lavere. For å få en antydning på hvor mye respondentene i gjennomsnitt var villig til å investere, regnet vi medianen av prisintervallene. Dette viste at 80 000 - 160 000 kr var det mest vanlige svaret. Prisintervallet vil bli tatt til betraktning i videre vurderinger, men vil ikke bli vektlagt i stor grad grunnet undersøkelsens lave svarprosent.

### **4.3 Simien analyse**

For å få estimert energibehov og en oversikt over hva energien i boligen går til, utførte vi en årssimulering i Simien. Videre ble programmet benyttet til å kontrollere forskriftsmessige krav og fastsette energimerking på boligen. Dette resulterte i en presis fremstilling av dagens situasjon og la til rette for å fremstille forskjellen i energibehov før og etter foreslåtte utviklingstiltak.

For å lage en analyse av hvordan dagens situasjon er, må man gå ut ifra beregnede U-verdier på yttervegger, tak, gulv på grunn, vinduer og dører. Det blir tatt i bruk standardiserte kuldebroverdier etter SINTEF Byggforsk (SINTEF, 2019). Lekkasjetallet er funnet gjennom trykktest og brukes deretter. Videre er det brukt standardverdier gitt fra Simien og NS3031 på internlaster og annet teknisk utstyr.

Vi fikk utlevert strømforbruket av huseier (vedlegg 5), som viste at strømforbruket var på ca. 14 000 kWh i 2022. Dette gjør at usikkerheten ved analysen kan justeres deretter. Vi hadde problemer med å få *beregnet levert energi* til å stemme overens med strømregningen. Det kom av at vi ikke hadde medregnet energien utlevert av biobrensel i form av vedfyring. Vi fikk informasjon av huseier at han bruker ca. 80 liter med ved i uken og fyrer omtrent halve året. Med det kunne vi regne ut hvor mange kWh ved avgir i denne boligen (vedlegg 6).



Figur 25: Beregnet levert energi av dagens situasjon.

Beregnet levert energi i vår modell av den eksisterende boligen på Nymark (se figur 25), stemmer ikke direkte overens med det reelle strømforbruket for 2022, men er relativt likt. Dette kan være fordi det ble brukt mindre energi dette året enn det Simien beregner ut fra, eller andre feilkilder som vil bli vurdert senere [4.3.4]. 2022 var et ekstremår med høye strømpriser, som kan ha medført at beboerne har vært mer besparende på strømforbruket sitt. Denne analysen blir utgangspunkt for videre beregninger.

### 4.3.1 Inputverdier

Simien modellen blir bygd opp ved at man plotter inn data om byggets komponenter. Ved å benytte innhentet data fra befaringen kunne vi bygge opp en mest mulig eksakt modell av bygget i Simien. U-verdier beregnes ut fra dimensjoner og observasjoner fra befaringen og plottes inn for hver enkelt bygningsdel. Beregnede U-verdier og andre benyttede data i Simien ligger vedlagt i vedlegg *Inputverdier*.

Etter å ha sammenlignet totalt netto energibehov med innhentet strømregning måtte vi justere lekkasjetallet fra 12,4 til 5. Dette ble besluttet etter en samlet helhetsvurdering på at 12,4 er et urealistisk høyt lekkasjetall [4.1.1]. Etter rådgivning med veileder og erfaringstall fra andre

lignende bygg havnet vi på  $5 \text{ h}^{-1}$ . Når vi var trygge på at oppbyggingen av de andre komponentene i Simien var korrekte, var det lekkasjetallet som var den mest usikre faktoren. Deretter justerte vi dette slik at det stemte overens med det reelle energiforbruket.

Taket og ytterveggene er bygd opp av stenderverk og isolasjon, og må dermed regnes som inhomogene sjikt. Ytterveggene legges inn som fasader øst, sør og vest. Veggen mot nord legges inn som en skillekontruksjon da denne grenser mot den andre delen av tomannsboligen. Vi anslår at naboboligen holder samme gjennomsnittstemperatur, så dette vil ikke ha noe beregningsgrunnlag for Simien.

Vinduer og dører er en samlet post i Simien der U-verdien skal plottes inn individuelt. Alderen på vinduene er grunnlaget for fastsettelsen av U-verdien. Som nevnt i kapittel [4.1](#) var det noe usikkerhet rundt produksjonsåret på de forskjellige vinduene. Noen års differanse vil ikke ha noe å si for Simien beregningen, da tolags vinduer før 1997 er estimert til å ha en U-verdi på 2,4 (Enova, 2016b). Det var også to nye dører og to nye vinduer som var 1-2 år gamle. Disse er tolags vinduer og dører, som vi anslår har en U-verdi på 1,2.

Kjellerveggene sin U-verdi er regnet med 400 mm uarmert betong som er lektet ut på innsiden med 100 mm mineralull. Det vil være vanskelig å fastslå gulvets oppbygging, men ut ifra gamle bilder (vedlegg 3) anslår vi at det kun er lagt betongdekke på grunn, U-verdien er derfor regnet som et homogent sjikt. For kjelleren har vi lagt inn en midlere vegghøyde på 1,2 m, da halve kjelleren er under terreng. Dette tar Simien til betraktning ved utregning av ekvivalente U-verdier, og er grunnen til at  $R_{se}$  er utelatt fra beregningen for gulv på grunn.

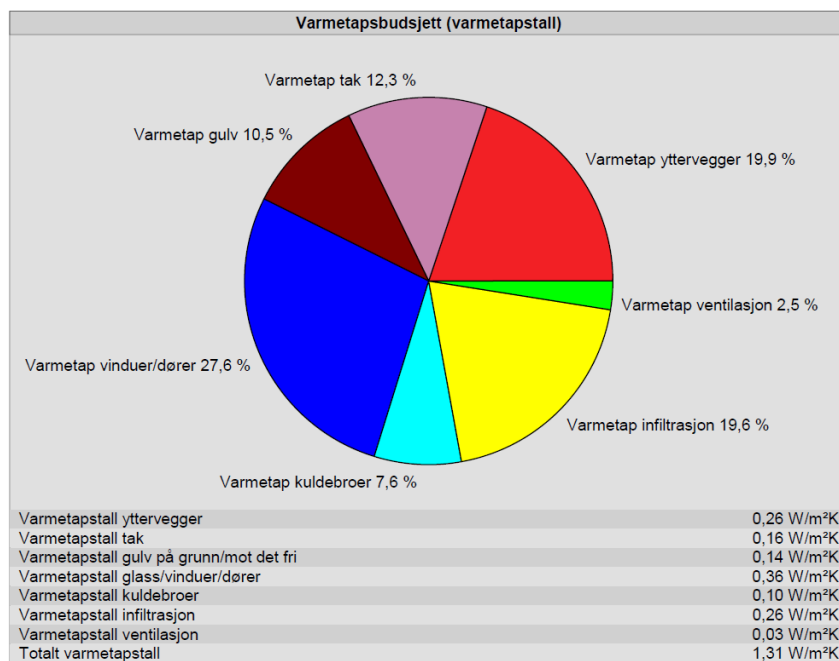
I Simien har vi lagt inn kneveggene som yttervegger siden det er tilnærmet friluft i gesimsen. Normal  $R_{se}$  verdi blir satt opp fra 0,13 til 0,2 for at tilnærmelsen skal bli mer reell. Kneveggene er fylt med 70 mm isolasjon. Det er kun lagt asfaltplate på halve veggen, så konduktiviteten er justert etter dette (se figur [10](#)). Det er 4 luker i kneveggene, som kun består av trepanel. Disse er kombinert inn som en egen fasade av ytterveggene i Simien.

For postene ventilasjon, internlaster og oppvarming er det hovedsakelig brukt standardverdier, med unntak av særskilte punkter. Dette innebærer varmetilskudd fra personer og driftstid for avtrekksventilasjon. Etter dialog med huseier har vi funnet realistiske verdier for dette (se vedlegg *Inputverdier*).

### 4.3.2 Årssimulering

En årssimulering gjennomføres for å avdekke boligens nåværende energieffektivitet.

Sektordiagrammet i figur 26 illustrerer hvor stor del av varmetapet som går til de forskjellige bygningsdelene. Dette er et nyttig resultat for å videre undersøke hvilke komponenter som har størst potensial for energieffektivisering. Oversikten i figuren under viser varmetapstallet til hver bygningsdel, samt det totale for hele boligen.



Figur 26: Varmebudsjetten av dagens situasjon.

Ut fra figuren ser vi at varmetapet fra vinduer/dører er det største, noe vi forventet grunnet vinduene alder og tilstand. Infiltrasjon er også en stor del av varmetapsbudsjetten. Dette ble også avdekket som et problem ved gjennomføringen av trykktesten hvor vi fikk et svært høyt lekkasjetall. Ytterveggene har et høyt varmetapstall, noe som ofte forekommer grunnet at det utgjør en stor prosentandel av klimaskjermen. I tillegg antar vi at mye av varmetapet i ytterveggene skyldes at kneveggene er medberegnet i denne posten. Selv med liten isolasjonstykkelse i taket, utgjør varmetapet en mindre prosentandel enn det vi antok på forhånd. Dette skyldes at taket utgjør en relativt liten del av klimaskjermen, grunnet arealet. Kuldebroer er en kjent post som alltid vil utgjøre en viss andel av varmetapet. Det kan være vanskelig å avdekke hvor disse opptrer, for utenom hjørner som alltid vil utgjøre en geometrisk kuldebro. Det totale varmetapstallet er  $1,31 \frac{W}{m^2K}$ , noe som er relativt høyt og viktig å redusere for å energieffektivisere boligen.

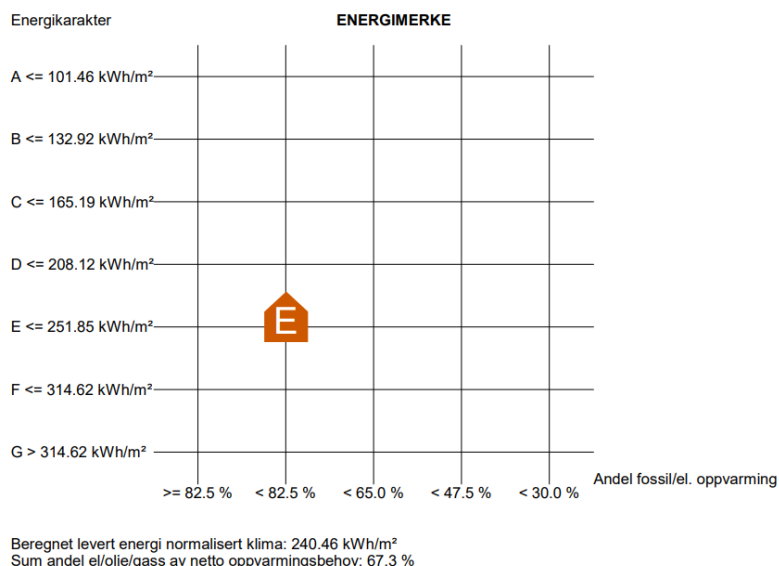
Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	10893 kWh	88,0 kWh/m <sup>2</sup>
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
2 Varmtvann (tappevann)	3688 kWh	29,8 kWh/m <sup>2</sup>
3a Vifter	75 kWh	0,6 kWh/m <sup>2</sup>
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
4 Belysning	793 kWh	6,4 kWh/m <sup>2</sup>
5 Teknisk utstyr	3253 kWh	26,3 kWh/m <sup>2</sup>
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt netto energibehov, sum 1-6	18702 kWh	151,1 kWh/m <sup>2</sup>

Figur 27: Energibudsjett av dagens situasjon.

Figur 27 viser at over halvparten av energibruken i boligen går til romoppvarming. For de fleste vil dette være den største enkeltposten i energibudsjettet. En rapport fra Regjeringen viser at om lag 2/3 av strømbruken i norske boliger går til romoppvarming (Olje-og energidepartementet, 2023). I denne boligen er andelen på 58,2 %, noe som tilsier at dette er et relativt normalt forbruk på denne posten. Dette vil derfor underbygge påstanden vår om at dette er en representativ bolig for den norske boligmassen. Det vil ikke være 58,2 % som går til effektiv romoppvarming da mye av varmen tapes gjennom klimaskjermen. De andre postene er også relativt forventede og står i tråd med gjennomsnittstallene for landet. Hele Simien beregningen ligger vedlagt som *Årssimulering før tiltak*.

### 4.3.3 Energimerke

Fastsettelse av energimerke viser boligens energieffektivitet. Karakterskalaen vurderer forventet årlig energibruk og går fra A til G, hvor A er toppkarakter. Fargeskalaen illustrerer oppvarmingskarakter som går fra rød til grønn, hvor grønn er best (se figur 7). Ved salg eller utleie av boliger er det krav til å ha en energiattest (Olje- og energidepartementet, 2021), så det vil være fordelmessig for boligverdien å oppnå en god karakter.



Figur 28: Energikarakter for dagens situasjon.

Denne boligen har en beregnet levert energi på  $240,5 \frac{kWh}{m^2}$ , og er dermed satt til energimerke E (se figur 28). Oppvarmingskarakteren er her satt til oransje, grunnet andelen elektrisitet som går til oppvarming på 67,3 %. For å kunne forbedre energimerkingen, må det vurderes tiltak som både gjør bygget mer energieffektivt, men også se på teknisk utstyr og ventilasjon som kan påvirke strømforbruket. Oppvarmingskarakteren vil ikke bli påvirket av tiltak på selve bygningskroppen, og det vil derfor være nødvendig å drøfte tiltak som kan bedre denne.

#### 4.3.4 Feilkilder

Ved utførelse av beregninger i Simien, må det tas hensyn til at forenklinger vil bli gjort for å håndtere den komplekse naturen til det undersøkte systemet. Disse forenklingene kan resultere i en reduksjon av nøyaktigheten av resultatene. Som en konsekvens vil resultatene være utsatt for feilkilder som oppstår fra disse forenklingene. Det er avgjørende å være klar over disse feilkildene og ta hensyn til de når resultatene tolkes, og dermed forbedre grunnlaget for beslutninger basert på Simien analyser.

En usikkerhetsfaktor som vil ha innvirkning er klimaparametere. Simien kommer med en viktig merknad før alle beregninger "Ved evaluering mot byggeforskrifter og energimerking vil programmet alltid bruke klimadata for Oslo". Ved evaluering av energimerke advarer også programmet om store romlufttemperatur variasjoner, og det anbefales å gjennomføre en sommer- og vintersimulering. Dette vil ikke ha en stor innvirkning på resultatet, og har derfor blitt neglisjert i vår beregning. Simien forholder seg til en romtemperatur mellom 19 og 21



grader, noe som ikke nødvendigvis er realiteten. Dette vil være en uviss faktor da inneklima er individuelt.

En gjennomgående feilkilde ved beregning av ulike oppgraderinger vil være kuldebroverdier. For eksempel hvis det krysslektet fra utsiden fungerer dette som et kuldebrobrytende lag, noe Simien ikke tar hensyn til. Det er mulig å overstyre kuldebroverdiene som brukes i programmet, men for å unngå komplikasjoner ved beregningen har vi valgt å gjøre denne forenklingen.

På grunn av vår avgrensning til oppgraderinger som gjelder bygningskroppen, har vi brukt mye standardverdier under punktene oppvarming, internlaster og ventilasjon. Dette kunne vi undersøkt mer detaljert, og dermed fått noe endring i resultatene. Lekkasjetallet er etter vår vurdering den største usikkerhetsfaktoren i beregningen, da dette ble justert ned i forhold til hva vi målte i trykktesten.

#### **4.4 Økonomiske analyser**

For å kunne vurdere oppgradering av boligen til ulike energinivåer, lagde vi en kostnadskalkulator hvor brukeren har mulighet til å plote inn egne data for sin bolig. Brukeren vil kunne få utregnet pris på ulike tiltak for å oppnå visse energinivåer, samt tekniske krav som må tilfredsstilles.

For å fastslå de nødvendige isolasjonstykkelsene satt vi opp et regneark som beregner U-verdier for de ulike bygningselementene. Brukeren kan sette inn eksisterende og nye isolasjonstykkelser og dette blir satt opp mot de ulike kravene. En kan dermed sette inn og vurdere hvor mye isolasjon som trengs for å oppnå det gitte energinivået.

Alle priser på materialer, utførelse og rivning er hentet fra Norsk Prisbok (Norconsult Informasjonssystemer, 2023). Dette er en oppdatert prisdatabase med informasjon om kostnader for byggeprosjekter. Den inneholder erfaringspriser for ulike materialer, utførelsespriser, livssyklus-kostnader og verdier for CO<sub>2</sub>-avtrykk. Prisboken er anerkjent i norsk byggebransje og brukes av alt fra mindre håndverkerfirmaer til ledende rådgivere og arkitekter.



Energinivå 3		Felt markert grønt kan endres			U-verdi	
<b>Tak</b>						
Antall [m <sup>2</sup> ]	0	Materialpris	kr 0			
Eksisterende isolasjon [mm]	0	Pris med utførelse	kr 0			
Ny type isolasjon:	Mineralull	Pris for riving	kr 0	Krav		0,18
Isolasjonstykkelse ny [mm]	0	Isolasjonstykkelse total [mm]	0	Oppnådd		1,158
<b>Vegg [tre]</b>						
Antall [m <sup>2</sup> ]	0	Materialpris	kr 0			
Eksisterende isolasjon [mm]	0	Pris med utførelse	kr 0			
Ny type isolasjon:	Mineralull	Pris for riving	kr 0	Krav		0,22
Isolasjonstykkelse ny [mm]	0	Isolasjonstykkelse total [mm]	0	Oppnådd		1,941
<b>Vegg kjeller [betong]</b>						
Antall [m <sup>2</sup> ]	0	Materialpris	kr 0			
Betongtykkelse [mm]	0	Pris med utførelse	kr 0			
Eksisterende isolasjon [mm]	0	Pris for riving	kr 0			
Ny type isolasjon	Mineralull	Isolasjonstykkelse total [mm]	0	Krav		0,22
Isolasjonstykkelse ny [mm]	0			Oppnådd		2,861
<b>Kjellergulv [betong]</b>						
Antall [m <sup>2</sup> ]	0	Materialpris	kr 0			
Betongtykkelse [mm]	0	Pris med utførelse	kr 0			
Eksisterende isolasjon [mm]	0	Pris for riving	kr 0			
Ny type isolasjon	Mineralull	Isolasjonstykkelse total [mm]	0	Krav		0,22
Isolasjonstykkelse ny [mm]	0			Oppnådd		3,448
<b>Vindu</b>						
U-verdi	1,2	Materialpris	kr 0			
Total vindusareal [m <sup>2</sup> ]	0	Pris med utførelse	kr 0	Krav		1,6
Takvindu [stk]	0	Pris for riving	kr 0	Oppnådd		1,2
<b>Dører</b>						
U-verdi	1,2	Materialpris	kr 0			
Antall [stk] Ytterdør	0	Pris med utførelse	kr 0	Krav		1,6
Antall [stk] Terrassedør	0	Pris for riving	kr 0	Oppnådd		1,2
<b>Støtte fra Enova?</b>						
	Nei	Støtte	kr 0			
<b>Installere varmepumpe?</b>						
	Nei	Materialpris	kr 0			
Info: (Luft-til-luft 3kWh)		Pris med utførelse	kr 0			

Oppsummering:	
Materialpris	kr 0
Totalpris med utførelse og riving	kr 0
Støtte:	kr 0
<b>Totalpris</b>	<b>kr 0</b>

Figur 30: Kostnadskalkulatoren.

Kalkulatoren vil videre i oppgaven bli benyttet for å sammenligne kostnadene ved rehabilitering til de ulike energinivåene. Denne ligger vedlagt som *Kostnadskalkulator*.

Innføring av tiltakene til de ulike energinivåene vil få positive ringvirkninger i form av reduserte driftskostnader. Vi har forsøkt å beregne strømkostnadene de neste 10 årene. For å anta en prosentvis årlig økning har vi benyttet prisnivåene mellom 2012 og 2022. Tallene viser en gjennomsnittlig økning på 5,4 øre (se figur 31). 2022 var et ekstremår når det gjelder kraftpris, men regner man med strømsøtteordningen viser tall fra SSB at prisen hadde en normal økning (SSB, 2023c).



Figur 31: Egenkomponert graf av strømprisens utvikling mellom 2012-2022.

I de forskjellige løsningsforslagene vil vi se på hvordan strømutfgiftene i boligen vil endres over tid, i henhold til ulike tiltak som blir drøftet. Formålet er å se hvor mye strømutfgiftene kan reduseres ved innføring av ulike tiltak, og undersøke hvilke som har lavest nedbetalingstid. Vedlegg *Strømkostnader* blir brukt for å beregne dette.

#### 4.5 Tiltak for boligen

For å energieffektivisere boligen setter vi opp ulike tiltak som må tilfredsstilles for å komme innenfor kravene til de ulike energinivåene. Vi vil ta utgangspunkt i de tre nivåene som Enova har definert [2.6.1], som gir ulik pengestøtte. Det vil i tillegg være hensiktsmessig å vurdere andre løsninger som går utenfor disse energinivåene.

For å tilfredsstille kravene i de ulike energinivåene er det flere elementer som må utbedres. Lekkasjetall er en faktor som må forbedres i hvert energinivå. Det bør derfor byttes vindsperre og dampsperre i vegger for å bedre lufttettheten. Under befaring ble det avdekket at kneveggene på loftet hadde generell lav standard, og må utbedres i alle nivåene.

Ettersom boligen ikke har blitt rehabilitert på mange år, vil det være hensiktsmessig å oppgradere både utvendig kledning og tak. På grunn av boligens tilstand vil det være fare for fukt og vannlekkasjer over tid. Ved åpning av veggene bør det tas en vurdering på om

eksisterende isolasjon må byttes ut. Om det viser seg å være dårlig utført isolering eller at isolasjonen er av dårlig tilstand bør det gjøres tiltak.

For å tilfredsstille kravene til netto energibehov og varmetapstall (tabell 3), kan det være aktuelt å installere et balansert ventilasjonssystem. Dette kan være et tilleggsalternativ dersom enkelte tiltak ikke lar seg gjennomføre. På denne måten er det mulig å kombinere dette med andre løsninger. Dette vil ikke bli vurdert inn i prisen, ettersom vi fokuserer på oppgradering av bygningskroppen.

Store inngrep i bygningskroppen vil medføre en stor investering og tiden før tiltakene er spart inn vil være lang hvis man kun ser på reduserte strømkostnader. Det er derfor viktig å vurdere andre faktorer ved en slik investering, som økt bokvalitet, inneklima og markedsverdi.

#### 4.5.1 Oppgradering til energinivå 3



Figur 32: Illustrasjon av bolig oppgradert til energinivå 3, laget i Revit.

Dette innebærer oppgraderinger som tilfredsstiller kravene i TEK10. Støtten man kan oppnå ved dette nivået er inntil 100 000 kr.

For å oppnå energinivå 3 (figur 32) bør følgende oppgraderinger gjennomføres:

Oppgraderingsmuligheter	Opprinnelig	Oppgradert
Isolasjon tak	100 mm	200 mm
Isolasjon loft (knevegger)	75 mm	200 mm
Isolasjon yttervegger	150-200 mm	200 mm
Isolasjon kjellervegg	100 mm	200 mm
Isolasjon kjellergulv	0 mm	50 mm
U-verdi vindu og dører (gjennomsnitt)	2,05 W/(m <sup>2</sup> K)	1,2 W/(m <sup>2</sup> K)
Lekkasjetall	5,0 h <sup>-1</sup>	2,5 h <sup>-1</sup>
Årlig netto energibehov	151,1 kWh/m <sup>2</sup>	100,6 kWh/m <sup>2</sup>
Varmetapstall	1,31 W/(m <sup>2</sup> K)	0,84 W/(m <sup>2</sup> K)

Tabell 4: Oppgraderingsmuligheter for å oppnå energinivå 3.

Ut ifra tabellen [over](#) ser vi at det vil være nødvendig å etterisolere tak, knevegger og kjellervegg. Ytterveggene har tilstrekkelig med isolasjon fra før av, og det er derfor ikke nødvendig å etterisolere. Kjellergulvet hadde ingen eksisterende isolasjon, og hadde derfor svært høy U-verdi. Vi beregnet med oppbyggingen av et tilfarergulv med 50 mm tykkelse. U-verdikravet på selve gulvet vil ikke bli oppfylt med kun 50 mm mineralull, men grunnet takhøyden i kjelleren ville det ikke vært hensiktsmessig å bygge opp gulvet mer. For å omfordele blir de gamle vinduene byttet til nye 2-lags med U-verdi 1,2, selv om kravet er 1,6 i gjennomsnitt. Dette vil bidra til at det totale energibehovet og varmetapstall vil være innenfor kravene.

Simien beregningen for dette nivået (vedlegg *Årssimulering energinivå 3*) viser at årlig netto energibehov blir redusert med 6 300 kWh. Varmetapstallet har også blitt redusert betraktelig med 36 %. Vinduer og dører er fortsatt den posten som har størst varmetap. Dette er naturlig, da disse sjelden vil oppnå en U-verdi på lik linje med andre deler av klimaskjermen. Ved denne oppgraderingen vil energimerket gå fra E til D, med samme oppvarmingskarakter (vedlegg *Energimerke energinivå 3*).

Energinivå 3		Felt markert grønt kan endres			
<b>Tak</b>					<b>U-verdi</b>
Antall [m <sup>2</sup> ]	67,9	Materialpris	kr 59 765		
Eksisterende isolasjon [mm]	100	Pris med utførelse	kr 126 932		
Ny type isolasjon:	Mineralull	Pris for riving	kr 24 376	Krav	0,18
Isolasjonstykkelse ny [mm]	100	Isolasjonstykkelse total [mm]	200	Oppnådd	0,175
<b>Vegg [tre]</b>					
Antall [m <sup>2</sup> ]	95,9	Materialpris	kr 54 663		
Eksisterende isolasjon [mm]	200	Pris med utførelse	kr 190 266		
Ny type isolasjon:	Mineralull	Pris for riving	kr 8 247	Krav	0,22
Isolasjonstykkelse ny [mm]	0	Isolasjonstykkelse total [mm]	200	Oppnådd	0,189
<b>Vegg kjeller [betong]</b>					
Antall [m <sup>2</sup> ]	35,2	Materialpris	kr 10 320		
Betongtykkelse [mm]	400	Pris med utførelse	kr 24 478		
Eksisterende isolasjon [mm]	100	Pris for riving	kr 6 547		
Ny type isolasjon:	Mineralull	Isolasjonstykkelse total [mm]	200	Krav	0,22
Isolasjonstykkelse ny [mm]	100			Oppnådd	0,182
<b>Kjellergulv [betong]</b>					
Antall [m <sup>2</sup> ]	32,6	Materialpris	kr 25 904		
Betongtykkelse [mm]	300	Pris med utførelse	kr 45 108		
Eksisterende isolasjon [mm]	0	Pris for riving	kr 11 149		
Ny type isolasjon:	Mineralull	Isolasjonstykkelse total [mm]	50	Krav	0,22
Isolasjonstykkelse ny [mm]	50			Oppnådd	0,602
<b>Vindu</b>					
U-verdi	1,2	Materialpris	kr 61 822		
Total vindusareal [m <sup>2</sup> ]	12,32	Pris med utførelse	kr 79 144	Krav	1,6
Takvindu [stk]	0	Pris for riving	kr 1 614	Oppnådd	1,2
<b>Dører</b>					
U-verdi	1,2	Materialpris	kr 8 369		
Antall [stk] Ytterdør	0	Pris med utførelse	kr 12 906	Krav	1,6
Antall [stk] Terrassedør	1	Pris for riving	kr 843	Oppnådd	1,2
Støtte fra Enova?	Ja	Støtte	kr 100 000		
Installere varmepumpe?	Nei	Materialpris	kr 0		
Info: (Luft-til-luft 3kWh)		Pris med utførelse	kr 0		

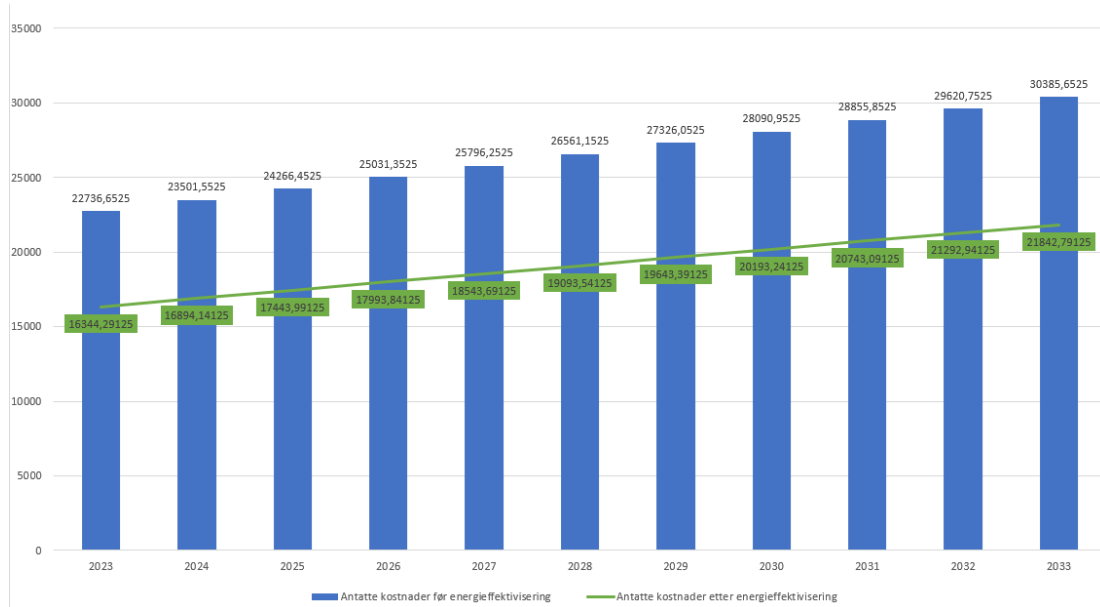
Figur 33: Kostnadskalkulatoren med inputverdier for energinivå 3.

Ut ifra kostnadskalkulatoren (figur 33) ser vi kostnadene ved hver bygningsdel ved oppgradering til energinivå 3. Totalprisen vil bli høyere hvis det viser seg at eksisterende isolasjon må byttes ut. Ettersom energinivå 3 har mildere krav til lufttetthet, antar vi at det kun vil være nødvendig med ny vindspærre. Derfor har vi ikke inkludert pris på innvendige materialer eller arbeid. I beregningen har vi regnet med utskifting av de vinduene som har en U-verdi på 2,4. Beregningen gir en total kostnad på:

Oppsummering:	
Materialpris	kr 220 842
Totalpris med utførelse og riving	<b>kr 531 610</b>
Støtte:	kr 100 000
<b>Totalpris med støtte</b>	<b>kr 431 610</b>

Figur 34: Kostnader ved oppgradering til energinivå 3.

Etter å ha sett på kostnadene ved denne oppgraderingen er det interessant å undersøke hvilke besparelser dette vil føre til. Ut fra Simien beregningen blir den beregnede leverte energien til bygget 8 150 kWh lavere. Grafen i figur 35 illustrerer hvordan årlige strømkostnader varierer med og uten innføring av tiltak, gitt at tiltakene blir gjennomført i 2023. Den tar kun for seg direkte elektrisitet, som beregnet i Simien vil ha en reduksjon på 4 300 kWh.



Figur 35: Årlig reduksjon i strømkostnader ved oppgradering til energinivå 3.

Med den beregnede økningen i strømpris har vi kalkulert at tiltakene i løpet av 10 år gir en besparelse på 82 000 kr. I realiteten vil den totale besparelsen være høyere da behovet for biobrensel også reduseres.



## 4.5.2 Oppgradering til energinivå 2



Figur 36: Illustrasjon av bolig oppgradert til energinivå 2, laget i Revit.

Dette nivået setter krav til lavenergihus. Her er det mulig å få inntil 125 000 kr i støtte.

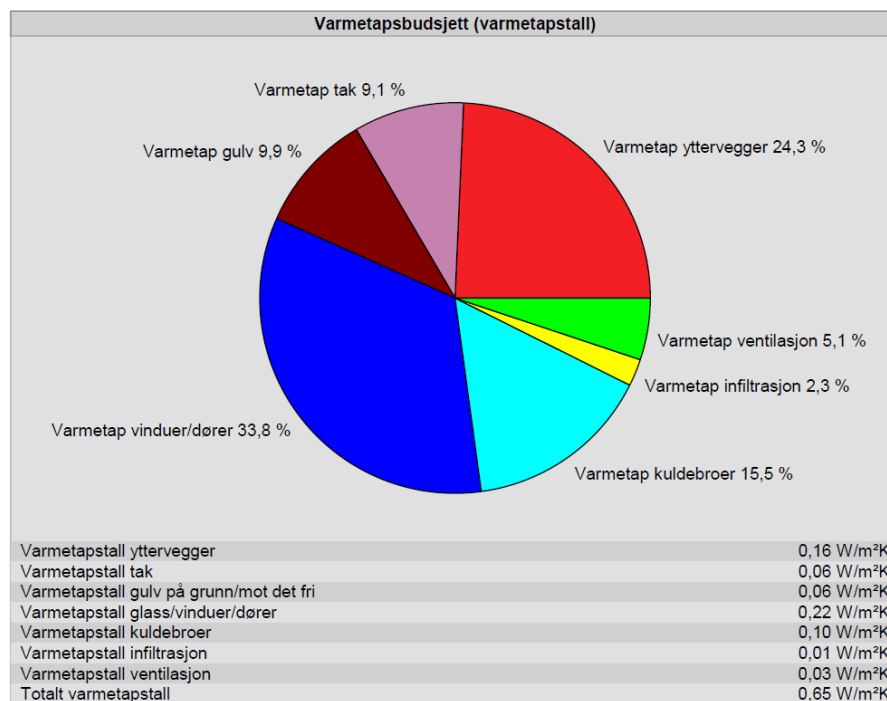
For å oppnå energinivå 2 (figur [36](#)) bør følgende oppgraderinger gjennomføres:

Oppgraderingsmuligheter	Opprinnelig	Oppgradert
Isolasjon tak	100 mm	350 mm
Isolasjon loft (knevegger)	73 mm	250 mm
Isolasjon yttervegger	200 mm	250 mm
Isolasjon kjellervegg	100 mm	250 mm
Isolasjon kjellergulv	0 mm	50 mm
U-verdi vindu og dører (gjennomsnitt)	2,05 W/(m <sup>2</sup> K)	1,2 W/(m <sup>2</sup> K)
Lekkasjetall	5,0 h <sup>-1</sup>	0,6 h <sup>-1</sup>
Årlig netto energibehov	151,1 kWh/m <sup>2</sup>	85,7 kWh/m <sup>2</sup>
Varmetapstall	1,31 W/(m <sup>2</sup> K)	0,65 W/(m <sup>2</sup> K)

Tabell 5: Oppgraderingsmuligheter for å oppnå energinivå 2.

For å oppnå energinivå 2 må alle bygningsdelene etterisolerers. Lekkasjetallet er vesentlig strengere her, og det vil derfor være nødvendig å legge ny vind- og dampsperre. De vinduene som har en U-verdi på 2,4 byttes til 2-lags vinduer med en U-verdi på 1,2, tilsvarende som i energinivå 3. I taket trengs det 350 mm med mineralull for å nå kravet. Dette vil ha en vesentlig innvirkning på takhøyden. Derfor har vi beregnet pris på PIR isolasjon i tak. Det gjør at det kun trengs 200 mm isolasjon i taket og vil derfor spare takhøyde.

Den største forskjellen mellom energinivå 2 og 3 er reduksjonen av varmetapet grunnet infiltrasjon. Det vil være usikkerhet rundt hvor stor andel kuldebroer vil utgjøre av varmetapsbudsjettet (se figur 37). Det vil sannsynligvis i realiteten være noe lavere ettersom all isolasjon byttes og arbeidet utføres av godkjente fagfolk. Hvis det også krysslektes ved etterisolering vil kuldebroene rundt stenderverket reduseres.



Figur 37: Varmetapsbudsjett ved oppgradering til energinivå 2.

I tillegg til at varmetapstallet reduseres vil også byggets energibehov bli betraktelig bedre. Som vist i vedlegg *Årssimulering energinivå 2*, vil den nye beregnede energibruken være 11 539 kWh. Ved å gjennomføre disse tiltakene vil man oppnå energimerke C (se vedlegg *Energimerke energinivå 2*).

Energinivå 2		Felt markert grønt kan endres			
<b>Tak</b>				<b>U-verdi</b>	
Antall [m²]	67,9	Materialpris	kr 145 523		
Eksisterende isolasjon [mm]	0	Pris med utførelse	kr 226 755		
Ny type isolasjon:	PIR	Pris for riving	kr 24 376	Krav	0,12
Isolasjonstykkelse ny [mm]	200	Isolasjonstykkelse total [mm]	200	Oppnådd	0,114
<b>Vegg [tre]</b>					
Antall [m²]	95,9	Materialpris	kr 84 197		
Eksisterende isolasjon [mm]	0	Pris med utførelse	kr 224 643		
Ny type isolasjon:	Mineralull	Pris for riving	kr 26 085	Krav	0,16
Isolasjonstykkelse ny [mm]	250	Isolasjonstykkelse total [mm]	250	Oppnådd	0,155
<b>Vegg kjeller [betong]</b>					
Antall [m²]	35,2	Materialpris	kr 16 824		
Betongtykkelse [mm]	400	Pris med utførelse	kr 32 049		
Eksisterende isolasjon [mm]	0	Pris for riving	kr 6 547		
Ny type isolasjon	Mineralull	Isolasjonstykkelse total [mm]	250	Krav	0,16
Isolasjonstykkelse ny [mm]	250			Oppnådd	0,154
<b>Kjellergulv [betong]</b>					
Antall [m²]	32,6	Materialpris	kr 35 193		
Betongtykkelse [mm]	300	Pris med utførelse	kr 55 922		
Eksisterende isolasjon [mm]	0	Pris for riving	kr 11 149		
Ny type isolasjon	PIR	Isolasjonstykkelse total [mm]	50	Krav	0,16
Isolasjonstykkelse ny [mm]	50			Oppnådd	0,296
<b>Vindu</b>					
U-verdi	1,2	Materialpris	kr 61 822		
Total vindusareal [m²]	12,32	Pris med utførelse	kr 79 144	Krav	1,2
Takvindu [stk]	0	Pris for riving	kr 1 614	Oppnådd	1,2
<b>Dører</b>					
U-verdi	1,2	Materialpris	kr 8 369		
Antall [stk] Ytterdør	0	Pris med utførelse	kr 12 906	Krav	1,2
Antall [stk] Terrassedør	1	Pris for riving	kr 843	Oppnådd	1,2
<b>Støtte fra Enova?</b>	Ja	Støtte	kr 125 000		
<b>Installere varmepumpe?</b>	Nei	Materialpris	kr 0		
Info: (Luft-til-luft 3kWh)		Pris med utførelse	kr 0		

Figur 38: Kostnads kalkulatoren med inputverdier for energinivå 2.

I denne løsningen har vi valgt å bytte all eksisterende isolasjon, da kravet til U-verdi er strengere. Det vil være lite sannsynlig at den gamle isolasjonen holder den standarden som kreves i dette nivået. Prisen i dette tilfellet er medregnet både utvendige og innvendige oppgraderinger, også for vegger. Ved å benytte PIR isolasjon i tak vil materialprisen bli 76 000 kr høyere enn ved bruk av mineralull. Beregningen gir en total kostnad på:

<b>Oppsummering:</b>	
Materialpris	kr 351 929
Totalpris med utførelse og riving	<b>kr 702 032</b>
Støtte:	kr 125 000
<b>Totalpris med støtte</b>	<b>kr 577 032</b>

Figur 39: Kostnader ved oppgradering til energinivå 2.

Energieffektiviseringen vil føre til 5 400 kWh lavere årlig strømforbruk. Dette tilsvarer, ifølge strømkalkulatoren, en besparelse på 103 500 kr i løpet av de første 10 årene.

### 4.5.3 Oppgradering til energinivå 1



Figur 40: Illustrasjon av bolig oppgradert til energinivå 1, laget i Revit.

Dette innebærer å oppgradere til passivhusstandard. Støtten man kan oppnå ved oppgradering til dette energinivået er inntil 150 000 kr.

For å oppnå energinivå 1 (figur 40) bør følgende oppgraderinger gjennomføres:

Oppgraderingsmuligheter	Opprinnelig	Oppgradert
Isolasjon tak	100 mm	450 mm
Isolasjon loft (knevegger)	73 mm	350 mm
Isolasjon yttervegger	200 mm	350 mm
Isolasjon kjellervegg	100 mm	350 mm
Isolasjon kjellergulv	0 mm	75 mm
U-verdi vindu og dører (gjennomsnitt)	2,05 W/(m <sup>2</sup> K)	0,8 W/(m <sup>2</sup> K)
Lekkasjetall	5,0 h <sup>-1</sup>	0,6 h <sup>-1</sup>
Årlig netto energibehov	151,1 kWh/m <sup>2</sup>	75,0 kWh/m <sup>2</sup>
Varmetapstall	1,31 W/(m <sup>2</sup> K)	0,49 W/(m <sup>2</sup> K)

Tabell 6: Oppgraderingsmuligheter for å oppnå energinivå 1.

Til forskjell fra energinivå 2 og 3, må alle vinduer og dører byttes til 3-lags med U-verdi på 0,8. Ved bruk av mineralull i tak kreves det 450 mm tykkelse. Dette vil være urealistisk med tanke på at takhøyden blir betraktelig redusert og at det må gjøres store inngrep i konstruksjonen. Vi har derfor medberegnet å bruke VIP i taket. Dette vil føre til en 360 mm slankere takkonstruksjon sammenlignet med om man skulle brukt mineralull.

Selv med en betraktelig høyere standard på vinduer og dører vil dette fortsatt være den delen med høyest varmetapstall. I likhet med energinivå 2 vil kuldebroer være en stor post, som i realiteten vil være redusert ved hjelp av kuldebrobrytende lag i form av krysslekting. Dette er vår argumentasjon for at vi er innenfor energinivå 1, selv om vi er 0,01 over varmetapstallet. Resultatene fra vedlegg *Årssimulering energinivå 1* viser at energiforbruket blir svært lavt. Energimerket er også her satt til C (se vedlegg *Energimerke energinivå 1*).

Energinivå 1		Felt markert grønt kan endres			U-verdi	
<b>Tak</b>						
Antall [m <sup>2</sup> ]	67,9	Materialpris	kr 214 381			
Eksisterende isolasjon [mm]	0	Pris med utførelse	kr 306 905			
Ny type isolasjon:	Vakuum	Pris for riving	kr 24 376	Krav	0,09	
Isolasjonstykkelse ny [mm]	90	Isolasjonstykkelse total [mm]	90	Oppnådd	0,072	
<b>Vegg [tre]</b>						
Antall [m <sup>2</sup> ]	95,9	Materialpris	kr 96 011			
Eksisterende isolasjon [mm]	0	Pris med utførelse	kr 238 394			
Ny type isolasjon:	Mineralull	Pris for riving	kr 26 085	Krav	0,11	
Isolasjonstykkelse ny [mm]	350	Isolasjonstykkelse total [mm]	350	Oppnådd	0,113	
<b>Vegg kjeller [betong]</b>						
Antall [m <sup>2</sup> ]	35,2	Materialpris	kr 21 161			
Betongtykkelse [mm]	400	Pris med utførelse	kr 37 096			
Eksisterende isolasjon [mm]	0	Pris for riving	kr 6 547			
Ny type isolasjon	Mineralull	Isolasjonstykkelse total [mm]	350	Krav	0,11	
Isolasjonstykkelse ny [mm]	350			Oppnådd	0,113	
<b>Kjellergulv [betong]</b>						
Antall [m <sup>2</sup> ]	32,6	Materialpris	kr 40 842			
Betongtykkelse [mm]	300	Pris med utførelse	kr 62 497			
Eksisterende isolasjon [mm]	0	Pris for riving	kr 11 149			
Ny type isolasjon	PIR	Isolasjonstykkelse total [mm]	75	Krav	0,11	
Isolasjonstykkelse ny [mm]	75			Oppnådd	0,206	
<b>Vindu</b>						
U-verdi	0,8	Materialpris	kr 88 372			
Total vindusareal [m <sup>2</sup> ]	14,96	Pris med utførelse	kr 117 656	Krav	0,8	
Takvindu [stk]	1	Pris for riving	kr 2 803	Oppnådd	0,8	
<b>Dører</b>						
U-verdi	0,8	Materialpris	kr 29 627			
Antall [stk] Ytterdør	1	Pris med utførelse	kr 35 907	Krav	0,8	
Antall [stk] Terrassedør	2	Pris for riving	kr 2 529	Oppnådd	0,8	
Støtte fra Enova?	Ja	Støtte	kr 150 000			
Installere varmepumpe?	Nei	Materialpris	kr 0			
Info: (Luft-til-luft 3kWh)		Pris med utførelse	kr 0			

Figur 41: Kostnadskalkulatoren med inputverdier for energinivå 1.

Som vist i figur 41 vil materialprisen for taket bli betraktelig høyere enn i de andre nivåene, grunnet bruk av VIP. Siden det kreves at samtlige dører og vinduer har en samlet U-verdi på 0,8 i energinivå 1, vil dette utgjøre en stor del av totalkostnaden. Beregningen gir en totalkostnad på:

Oppsummering:	
Materialpris	kr 490 393
Totalpris med utførelse og riving	<b>kr 871 944</b>
Støtte:	kr 150 000
<b>Totalpris med støtte</b>	<b>kr 721 944</b>

Figur 42: Kostnader ved oppgradering til energinivå 1.

Ved å gjennomføre disse tiltakene vil strømforbruket reduseres med 42 %, som vil medføre en besparelse på ca. 122 500 kr over en tiårsperiode.

## 4.6 Andre tiltak

Energieffektivisering ved å oppgradere bygningskroppen kan være en stor investering. Dette vil for mange være en for stor kostnad og ikke realistisk å gjennomføre. Derfor ser vi på gjennomføring av andre tiltak som også vil forbedre energieffektiviteten. Flere av disse tiltakene vil også bedre oppvarmingskarakteren til energimerket.

Nedbetalingstid for de ulike tiltakene vil si den tiden det tar for at investeringen blir spart inn gjennom reduserte driftskostnader. For å beregne nedbetalingstid har vi lagt til grunn en enebolig på 100 m<sup>2</sup> med et årlig energiforbruk på 25 000 kWh. Strømprisen er progressivt beregnet etter vår strømkalkulator illustrert i figur 31. I vedlegg *Nedbetalingstid andre tiltak* har vi laget et regneark som beregner nedbetalingstiden på de ulike tiltakene. De årlige besparelsene på strøm er hentet fra Enova sin oversikt over ulike boligtiltak (Enova, 2023). Herfra har vi også hentet priser på de ulike tiltakene, og sammenlignet med tall fra Norsk Prisbok.

Tiltak	Støtte	Pris for tiltak (inkl. støtte)	Årlig besparelse [kWh]	Nedbetalingstid [år]
Tettelister	kr 0	kr 11,7/m	Varies	Varies
Smart varmtvannsbereder	kr 5 000	kr 15 000	0	7
Luft-til-luft varmepumpe	kr 0	kr 25 887	4800	4
Luft-til-vann varmepumpe	kr 0	kr 95 000	8800	7
Væske-til-vann varmepumpe	kr 10 000	kr 110 000	11100	7
Balansert ventilasjon	kr 10 000	kr 57 000	2952	11
Solcelleanlegg	kr 16 500	kr 136 546	3200	22

Tabell 7: Nedbetalingstid på andre tiltak.

Montering av tettelister reduserer varmetap grunnet luftlekkasje ved å tette sprekker rundt vinduer og dører. Dette vil være aktuelt for boliger hvor det er mye trekk og er generelt dårlig tettet. Dette er et rimelig tiltak som kan gjennomføres på egen hånd og vil ifølge Enova ha en årlig besparelse på 25-50 kWh per løpemeter som monteres (Enova, 2016c).

Nedbetalingstiden i dette tilfellet vil variere ut ifra boligens lekkasjetall.

En smart varmtvannsbereder varmer opp vannet på de tidspunktene hvor strømprisen er lav. Tiltaket vil derfor ikke ha en besparelse i kWh, men det vil føre til reduserte strømutfgifter. I rapporten *Nytteverdier fra smarte varmtvannsberedere* legges det frem en årlig besparelse på 2 100 kr for en middels familie (Tunheim et al., 2022, s. 25). Tallene er beregnet ut ifra året 2022, og besparelsen vil avhenge av strømprisens svingninger. Med denne besparelsen lagt til grunn vil nedbetalingstiden på investeringen ta syv år.

Det finnes flere forskjellige typer varmepumper. Det er store variasjoner i pris for de ulike typene, men alle har en relativt kort nedbetalingstid grunnet høy utnyttelse av energi. Luft-til-luft-varmepumpe er den vanligste typen brukt i Norge, da dette er et rimelig alternativ som medfører en stor besparelse i oppvarmingskostnader. For luft-til-vann- og væske-til-vann-varmepumpe vil prisene være noe høyere enn angitt i tabell 7, da det vil være tilleggskostnader for installasjon, boring og rør. Nedbetalingstiden vil derfor være lengere enn det som er angitt i tabellen, og prisen på anlegget vil variere etter størrelse og forutsetninger for installasjon.

Installasjon av et balansert ventilasjonsanlegg er et større inngrep på boligen, og det vil være store variasjoner i pris etter boligens størrelse og utforming. Dette tiltaket vil bidra til både sparte oppvarmingskostnader og bedre inn klima i boligen.

Solcelleanlegg er det dyreste enkelttiltaket vi ser på og er svært avhengig av klimaforholdene på det aktuelle stedet. Årlig besparelse vil avhenge av boligens lokasjon. I dette tilfellet er denne beregnet ut ifra Nymark i Bergen. Den maksimale støtten som er mulig å oppnå ved dette tiltaket er 47 500 kr, men dette avhenger av installert effekt på anlegget. I vårt tilfelle har vi hentet pris på solcelleanlegg med en effekt på 4,5 kWp, noe som tilsier at det er mulig å få 7 500 kr for installasjon og 2 000 kr per kWp installert (Enova, 2022). Med dette lagt til grunn blir nedbetalingstiden for dette tiltaket på 22 år.

#### **4.7 Optimalisert forslag**

Ved energieffektivisering av en bolig må det besluttes hvilke tiltak som vil være nødvendig å gjennomføre for den enkelte bolig. I dette kapitlet fremlegges det et bearbeidet løsningsforslag som vil fokusere på å optimalisere kostnadsbruken opp mot nytteverdien og realiserbarheten av oppgraderingen. De mest energieffektive tiltakene vil ha innvirkning på innvendig volum i boligen og dessuten være kostbare. Selv om oppgradering til eksempelvis passivhusstandard vil føre til svært god energieffektivitet, er det ikke gitt at dette er det mest lønnsomme. For å undersøke lønnsomheten av dette ser vi på fremtidige besparelser av driftskostnader og nedbetalingstiden av oppgraderingen.

En oppgradering av bygningskroppen vil være en relativt stor investering, og nedbetalingstiden vil dermed bli lang selv med lavere fremtidig energiforbruk. Grunnet dårlig vedlikehold over tid er den utvendige standarden på vår case generelt lav. Derfor er det

planlagt vedlikeholdsarbeid gjennom utskifting av utvendig kledning, tak og vinduer. For oss blir det derfor aktuelt å se på merkostnaden ved å gjennomføre energieffektive oppgraderinger når man først skal åpne vegger og tak.

For å energieffektivisere boligen til en akseptabel standard bør det utføres en rekke tiltak. Kneveggene på loftet blir bygget ut med 250 mm mineralull, vind- og dampspærre og kledd med trepanel på begge sider. Denne oppgraderingen vil ikke gi noe særlig utfordring på grunn av tilstrekkelig plass. Dette vil gjøre at boligens loft blir mye tettere som vil gi et lavere lekkasjetall, samt slippe ut mindre varme. Alle yttervegger i boligen blir etterisolert med mineralull fra utsiden, slik at total isolasjonstykkelse blir 250 mm. Det vil samtidig bli byttet vindsperre og kledning. For å spare kostnader vil vi unngå innvendige arbeid, noe som medfører høyere lekkasjetall ettersom dampspærren ikke blir byttet. Ved å gjennomføre disse tiltakene antar vi at lekkasjetallet vil bli redusert til 2,5, med samme antagelsene gjort i kapittel [4.5.1](#). På grunn av boligens størrelse vil det ikke være hensiktsmessig å miste noe av takhøyden på loftet, det vil derfor legges inn 60 mm med VIP i taket. Alle vinduer og dører med U-verdi 2,4 vil byttes til nye med U-verdi på 1,2. Kjellerveggene og gulvet beholdes som de er, da det ikke vil være mulig å etterisolere på yttersiden. Dette gjør at vi beholder kjellerens BRA og takhøyde.

Valget av disse tiltakene kommer av det vi mener beholder boligens funksjonalitet, i form av BRA og takhøyde. Takets alder og tilstand tilsier at det bør byttes. For å ikke miste mer av den allerede lave takhøyden, anser vi det som mest hensiktsmessig å benytte oss av VIP i stedet for mineralull. Dette sørger for at vi ikke risikerer å miste BRA på loftet. På grunn av kjellerens begrensede areal, vil det være ønskelig å beholde så mye av det eksisterende arealet. Kjellerens U-verdier vil fremstå svært dårlig, men i realiteten er de betraktelig lavere på grunn av at de er mot terreng og at de utgjør et lite areal. Dette er faktorer Simien tar hensyn til som gir oss en ekvivalent U-verdi (se figur [43](#)).



Inndata for et kjellerelement

<< Forrige side Neste side >>

Navn: Kjeller

Størrelse | Veggkonstruksjon | **Gulvkonstruksjon** | Grunnforhold | Kommentar

Varmelagring i innvendig sjikt gulv

Parkett (14 mm) + betong

Egendefinert sjikt

Effektiv varmekapasitet [Wh/m<sup>2</sup>K]: 41,0

Gulvkonstruksjon

Betongdekke (200-250 mm), 400mm isolasjon (150 mm over)

Egendefinert gulvkonstruksjon:

Uverdi [W/m<sup>2</sup>K]: 2,27

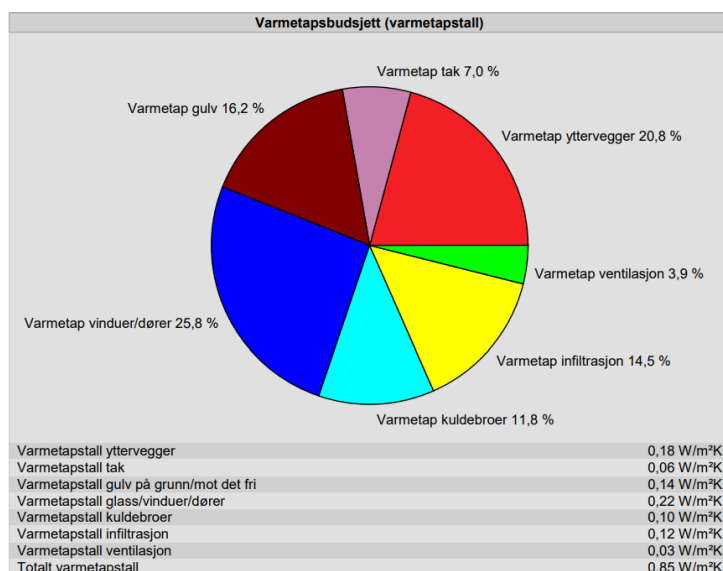
Ekvivalent U-verdi gulv [W/m<sup>2</sup>K]: 0,47    Ekvivalent U-verdi vegg [W/m<sup>2</sup>K]: 0,24    Hjelp

Figur 43: Ekvivalent U-verdi.

Ved å gjennomføre disse tiltakene ser vi ut ifra figur 44 & 45 at verdiene for årlig netto energibehov og varmetapstall vil være tilstrekkelig for å nå kravene til Enova for energinivå 3. Selv om varmetapstallet er 0,02 høyere enn det Enova stiller som krav, anslår vi at det er innenfor kravet på bakgrunn av at kuldebroverdien i realiteten vil være mindre på grunn av kuldebrobrytende lag. Energimerket vil bli satt til D, slik som i energinivå 3 (se vedlegg *Energimerke optimalisert forslag*). Løsningen medfører at vi ved gjennomføring av disse tiltakene vil kunne søke om støtte på inntil 100 000 kr. Hele Simien beregningen for denne løsningen ligger vedlagt som *Årssimulering optimalisert forslag*.

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	4642 kWh	37,5 kWh/m <sup>2</sup>
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
2 Varmtvann (tappevann)	3688 kWh	29,8 kWh/m <sup>2</sup>
3a Vifter	75 kWh	0,6 kWh/m <sup>2</sup>
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
4 Belysning	793 kWh	6,4 kWh/m <sup>2</sup>
5 Teknisk utstyr	3253 kWh	26,3 kWh/m <sup>2</sup>
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Totalt netto energibehov, sum 1-6</b>	<b>12451 kWh</b>	<b>100,6 kWh/m<sup>2</sup></b>

Figur 44: Energibudsjett ved oppgradering til optimalisert forslag.



Figur 45: Varmetapsbudsjett ved oppgradering til optimalisert forslag.

For å beregne kostnadene for rehabiliteringen satte vi inn tiltakene i kostnadskalkulatoren. For å komme frem til det beste forslaget, prøvde vi med forskjellige kombinasjoner av tiltak. Dette gjorde vi gjennom prøving og feiling, og kom til slutt frem til dette forslaget:

Energiniivå 3		Felt markert grønt kan endres			
<b>Tak</b>		<b>U-verdi</b>			
Antall [m <sup>2</sup> ]	67,9	Materialpris	kr 160 054		
Eksisterende isolasjon [mm]	0	Pris med utførelse	kr 243 668		
Ny type isolasjon:	Vakuum	Pris for riving	kr 24 376	Krav	0,18
Isolasjonstykkelse ny [mm]	60	Isolasjonstykkelse total [mm]	60	Oppnådd	0,105
<b>Vegg [tre]</b>					
Antall [m <sup>2</sup> ]	95,9	Materialpris	kr 60 570		
Eksisterende isolasjon [mm]	200	Pris med utførelse	kr 197 141		
Ny type isolasjon:	Mineralull	Pris for riving	kr 8 247	Krav	0,22
Isolasjonstykkelse ny [mm]	50	Isolasjonstykkelse total [mm]	250	Oppnådd	0,155
<b>Vegg kjeller [betong]</b>					
Antall [m <sup>2</sup> ]	0	Materialpris	kr 0		
Betongtykkelse [mm]	400	Pris med utførelse	kr 0		
Eksisterende isolasjon [mm]	100	Pris for riving	kr 0		
Ny type isolasjon:	Mineralull	Isolasjonstykkelse total [mm]	100	Krav	0,22
Isolasjonstykkelse ny [mm]	0			Oppnådd	0,337
<b>Kjellergulv [betong]</b>					
Antall [m <sup>2</sup> ]	0	Materialpris	kr 0		
Betongtykkelse [mm]	300	Pris med utførelse	kr 0		
Eksisterende isolasjon [mm]	0	Pris for riving	kr 0		
Ny type isolasjon:	Mineralull	Isolasjonstykkelse total [mm]	0	Krav	0,22
Isolasjonstykkelse ny [mm]	0			Oppnådd	2,273
<b>Vindu</b>					
U-verdi	1,2	Materialpris	kr 61 822		
Total vindusareal [m <sup>2</sup> ]	12,32	Pris med utførelse	kr 79 144	Krav	1,6
Takvindu [stk]	0	Pris for riving	kr 1 614	Oppnådd	1,2
<b>Dører</b>					
U-verdi	1,2	Materialpris	kr 8 369		
Antall [stk] Ytterdør	0	Pris med utførelse	kr 12 906	Krav	1,6
Antall [stk] Terrassedør	1	Pris for riving	kr 843	Oppnådd	1,2
<b>Støtte fra Enova?</b>					
	Ja	Støtte	kr 100 000		
<b>Installere varmepumpe?</b>					
	Nei	Materialpris	kr 0		
Info: (Luft-til-luft 3kWh)		Pris med utførelse	kr 0		

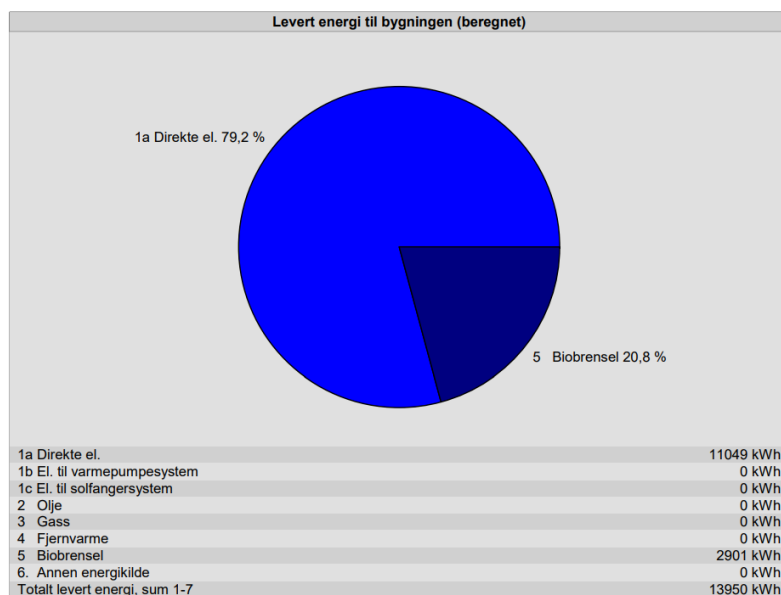
Figur 46: Kostnadskalkulatoren med inputverdier for optimalisert forslag.

Som vist i høyre kolonne av regnearket i figur 46 tilfredsstillende enkelte av elementene ikke U-verdi kravene, mens noen av delene har en U-verdi godt innenfor kravet. Dette vil føre til at enkelte deler av boligen, spesielt kjelleren, slipper ut mer varme enn andre. Det totale varmetapstallet og energibehovet reduseres betraktelig. Dette medfører en total kostnad på:

Oppsummering:	
Materialpris	kr 290 814
Totalpris med utførelse og riving	<b>kr 567 939</b>
Støtte:	kr 100 000
<b>Totalpris med støtte</b>	<b>kr 467 939</b>

Figur 47: Kostnader ved oppgradering til optimalisert forslag.

Kostnadene knyttet til oppgraderingen vil komme på 568 000 kr før støtte. Dette vil si at denne oppgraderingen vil være ca. 35 000 kr dyrere enn oppgradering til energinivå 3 (se figur 34). Grunnen til at vi mener at dette er et bedre alternativ er at faktorer som boligverdi og bokomfort i større grad er ivarettatt. Ifølge prisstatistikken fra Krogsvæen, ligger gjennomsnittlig kvadratmeterpris i området på 61 000 kr (Prisstatistikk Bergen, 2023). Det vil derfor være lønnsomt å gjennomføre tiltak som ikke reduserer boligens BRA.



Figur 48: Levert energi ved oppgradering til optimalisert forslag.

Ved å gjennomføre disse tiltakene kan vi ut ifra figur 48 regne ut en årlig besparelse på 4 249 kWh. Dette tilsvarer 81 000 kr i sparte strømkostnader i løpet av de første 10 årene.

Ettersom bytting av tak, kledning og vinduer allerede var planlagt arbeid, ønsket vi å se på kostnadene direkte knyttet til de energieffektiviserende tiltakene. Ved å benytte kostnadskalkulatoren regnet vi prisene på disse individuelt. Dette innebærer tiltakene isolering, lekting og tetting med vindsperre. Vi kom frem til at disse tiltakene utgjorde 217 000 kr av totalsummen på 568 000 kr. Av det allerede planlagte vedlikeholdet er kun bytting av vinduer og dører med på å bedre boligens energieffektivitet. Uten de energieffektiviserende tiltakene ville det ikke vært mulig å oppnå støtte fra Enova. Vi har derfor gjort en vurdering om at støtten på 100 000 kr kan sees i sammenheng med kostnadene for de energieffektiviserende tiltakene. Dette medfører at totalkostnadene for disse tiltakene vil være 117 000 kr etter støtte.

Ved å anta at kostnadene knyttet til energieffektivitet kommer som et tillegg på 117 000 kr, vil nedbetalingstiden på dette være i underkant av 6 år, kun gjennom reduserte strømkostnader. Kostnadene knyttet til biobrensel vil også reduseres, som vil ha en positiv innvirkning på nedbetalingstiden. Det er viktig å se på en omfattende rehabilitering i et større perspektiv. En slik oppgradering vil være energibesparende, gi bedre inneklima samt at den totale boligverdien sannsynligvis vil øke.

I tillegg til oppgradering av bygningskroppen kan det være hensiktsmessig å utføre andre tekniske tiltak for å bedre energieffektiviteten til boligen ytterligere. Ved denne oppgraderingen vil lufttettheten i boligen bli betraktelig forbedret. Det kan dermed være hensiktsmessig å installere et balansert ventilasjonsanlegg som sørger for et godt luftskifte, da boligen ikke lenger vil ha et naturlig luftskifte i samme grad gjennom luftlekkasjer. Luft-til-luft varmepumpe vil være et godt supplement til et balansert ventilasjonsanlegg, da varmepumpen varmer opp luften mens ventilasjonsanlegget renser luften. Som nevnt i kapittel [4.6](#) vil dette være kostnadseffektive tiltak. Det vil være vanskelig å fastslå hvor stor reduksjon boligens energibehov vil ha ved å kombinere de tekniske tiltakene med oppgradering av bygningskroppen.

#### **4.8 Sammenstilling av løsninger**

For å vurdere hvilken løsning som er mest lønnsom å gjennomføre er det hensiktsmessig å sammenligne investeringskostnadene ved oppgraderingene opp mot årlig besparelse og nedbetalingstid. I tabellen [nedanfor](#) er det gitt en oppsummering av de ulike løsningene som

er presentert. Det er også utregnet pris og nedbetalingstid for energieffektiviserende tiltak (EET), som ekskluderer de allerede planlagte vedlikeholdsarbeidene.

Løsning	Totalpris inkl. støtte	Årlig besparelse	Total nedbetalingstid	Pris for EET inkl. støtte	Nedbetalingstid EET
<b>Energiniivå 3</b>	kr 431 610	4257 kWh	40 år	kr 56 094	3,5 år
<b>Energiniivå 2</b>	kr 577 032	5520 kWh	41 år	kr 242 465	13 år
<b>Energiniivå 1</b>	kr 721 944	6418 kWh	43 år	kr 355 340	19,5 år
<b>Optimalisert</b>	kr 467 939	4262 kWh	43 år	kr 116 686	6 år

Tabell 8: Sammenstilling av ulike løsninger.

Som angitt i tabell [8](#) er total nedbetalingstid relativt lik for de ulike løsningene. Dette skyldes at de mer kostbare oppgraderingene medfører lavere energiforbruk. Nedbetalingstiden er kun regnet ut ifra reduserte strømkostnader, som følge av redusert energibehov. Ser vi kun på nedbetalingstiden for de energieffektiviserende tiltakene er det større variasjoner. Dette er på grunn av store forskjeller i materialpris, spesielt for isolasjon. Optimalisert forslag og energiniivå 3 har en særlig lav nedbetalingstid, da det ikke er behov for å utføre innvendige arbeider i disse løsningene. Resultatene fra spørreundersøkelsen indikerte at respondentene var villige til å bruke 80 000 - 160 000 kr på å energieffektivisere sin bolig [\[4.2\]](#). Uten at dette skal vektlegges for mye, ligger både løsningen for energiniivå 3 og optimalisert forslag innenfor dette prisintervallet.

Oppgraderingene vil også medføre økonomiske, miljømessige og helsemessige fordeler. De dyreste tiltakene vil medføre tykkere konstruksjonsdeler, og innvendig areal og volum vil dermed bli redusert. Energiniivå 3 fremstår å være det beste alternativet rent økonomisk. Nevnt tidligere er det andre faktorer som bør vurderes ved gjennomføring av en større oppgradering. I det optimaliserte forslaget evalueres lønnsomheten ved å beholde boligens BRA og takhøyde. Dette er faktorer som spiller inn på markedsverdien til boligen. På bakgrunn av dette anser vi det optimaliserte forslaget som mer kostnadseffektivt totalt sett enn energiniivå 3.

## Kapittel 5. Konklusjon

I denne oppgaven har vi hatt som mål å undersøke hvordan *kostnadsoptimalisering av energieffektiviserende tiltak i eksisterende trehusbebyggelse* kan gjennomføres. For å besvare problemstillingen har vi undersøkt et caseobjekt som vi mener er representativt for vår avgrensning.

Innføring av energieffektiviserende tiltak vil underbygge målet om å bli et lavutslippssamfunn. Det kreves en kollektiv innsats for å sammen bidra til et mer bærekraftig samfunn, og oppgraderinger av boliger vil være et steg i riktig retning for å oppnå klimamålene. Samtidig kan innføring av slike tiltak medføre helsemessige fordeler, i form av bedret inneklime og økt bokomfort.

Vårt *optimaliserte forslag* vil ikke ha lavest totalkostnad hvis det sammenlignes med å oppgradere til energinivå 3 (tabell [8](#)). Det vil være en tilleggskostnad for å beholde funksjonaliteten til boligen. Sett i et større perspektiv vil det være andre faktorer som spiller inn på hva som vil være mest lønnsomt, som boligverdi og generell bokvalitet. En slik løsning vil ikke nødvendigvis fungere for alle boliger, ettersom ulike størrelser og utforminger medfører store variasjoner i mulig utførelse og pris. Det vil være viktig å undersøke hvilke tiltak som vil være mest hensiktsmessig å utføre i hvert enkelt tilfelle.

Pris er ofte en stor faktor for forbrukere når det skal gjøres en vurdering. Det har derfor blitt regnet på nedbetalingstiden for ulike andre tiltak [\[4.6\]](#). Dette vil være alternative tiltak der det ikke er aktuelt å utføre større inngrep på bygningskroppen, da boligens standard er akseptabel eller at en større oppgradering ikke er økonomisk gjennomførbar.

For å konkludere vil det optimaliserte forslaget være en god løsning for å kostnadsoptimalisere energieffektiviseringen av denne boligen. Løsningen vil ha en totalkostnad på 568 000 kr og vil være innenfor Enova sine krav til energinivå 3. Dette medfører at man kan søke om støtte inntil 100 000 kr, som vil gi en totalpris på 468 000 kr. For eksisterende trehusbebyggelse vil det være store variasjoner og ikke et like klart svar. Det vil være nødvendig å se på hvert enkelt tilfelle individuelt, men ved å bruke kostnadskalkulatoren mener vi at vi har skapt et godt grunnlag for å støtte beslutningstakere i denne prosessen.

## Kapittel 6. Avsluttende refleksjoner

I dette kapittelet skal vi reflektere rundt vårt eget arbeid ved å drøfte styrker og svakheter ved oppgaven og vurdere hva vi kunne gjort annerledes under prosessen. Til slutt vil vi reflektere over hvordan vår oppgave kan anvendes i videre forskning. En viktig del av oppgaven er å reflektere hvordan utforming og innhold kunne vært gjort annerledes for å oppnå bedre resultater. Ved å være selvkritisk kan man strebe etter å alltid utvikle seg og lære av erfaringene.

Gjennom arbeidet med denne studien har vi erfart viktigheten av god struktur, rutiner og samarbeid. Dette har medført at vi har produsert en oppgave vi i stor grad er fornøyde med. Vi har gjennom hele arbeidet fått god hjelp av veiledere, og blitt gjort oppmerksom på nye innfallsvinkler og vurderinger. Dette har resultert i nye perspektiver på oppgaven som har åpnet opp for gode og konstruktive diskusjoner internt i gruppen. Studiens utforming ble i tråd med dette utviklet, da vi gjorde nye funn som vi syntes var interessant å studere nærmere.

En av diskusjonene gikk på om vi skulle sammenligne to case av ulik bygningstypologi, istedenfor å kun studere én. Dette var lenge noe vi vurderte som en vesentlig del av oppgaven, men ettersom oppgavens tilnærming endret fokus ble det mer naturlig og hensiktsmessig for oss å gå mer i dybden på kun én case. Dette gjorde at funnene våre ikke kunne sammenlignes med andre bygningstypologier. På den andre siden fikk vi mer tid til å kvalitetssikre forskningen og tilegne oss dyptgående kunnskap innenfor energieffektivisering av trehusbebyggelse.

For å støtte våre antakelser om at boligverdien ville øke ved ulike oppgraderinger kunne vi forhørt oss med en eiendomsmegler for å vurdere boligverdiens potensielle økning. Dette kunne gjort at vi hadde hatt et bedre grunnlag for å ta en beslutning om den mest kostnadseffektive løsningen. Prisene benyttet i kostnadskalkulatoren kunne vært nøyere vurdert ved å forhøre oss med fagfolk og gått mer i dybden på materialpriser. På den måten kunne vi kommet frem til et mer presist kostnadsestimat.

Lekkasjetallet er etter våre vurderinger den mest usikre posten ved vår studie. Siden dette var såpass høyt burde vi undersøkt nøyere hva årsakene kunne være. For eksempel kunne vi testet våre antakelser om at mye av luftlekkasjen skyldtes utettheter på loftet. Dette kunne vi undersøkt ved å dekke til trappeåpningen til loftet eller teipe igjen lukene i kneveggene, og

deretter utføre en ny trykktest. Om dette hadde resultert i en betraktelig reduksjon av lekkasjetallet, kunne vi fjernet usikkerheten rundt våre antakelser og styrket oppgavens validitet.

I forbindelse med gjennomførelsen av spørreundersøkelsen er det noen ting vi ville gjort annerledes. På grunn av den lave svarprosenten ble ikke undersøkelsen like anvendbar i oppgaven som vi først hadde tenkt. For å oppnå en tilfredsstillende svarprosent burde vi utformet og distribuert undersøkelsen tidligere i prosessen. Ideen om å komplimentere studien ved å gjennomføre en undersøkelse, kom ikke før slutfasen i prosjektet. Hadde vi utarbeidet spørreundersøkelsen tidligere kunne vi gjort oss kjent med den lave svarprosenten og iverksatt tiltak for å innhente mer data gjennom andre kanaler. Med en tilfredsstillende eller god undersøkelse kunne vi i større grad generalisert våre funn og resultater til en større andel boliger. Dermed kunne det blitt tatt en sikrere beslutning for å svare på problemstillingen.

## **6.1 Forslag til videre forskning**

Gjennom studien har vi avdekket flere interessante områder som kunne vært forsket videre på. På grunn av vår ressurs- og tidsbegrensning ville ikke dette vært mulig å gjennomføre. Videre presenterer vi noen av de aspektene som vi anser som nyttige i forlengelsen av denne studien.

Det ville vært interessant å undersøke flere tilsvarende boliger av ulik størrelse og utforming, for å avdekke om våre data vil være generaliserbare for denne bygningstypologien. Til videre arbeid kunne det vært mulig å lage kostnadskalkulatoren mer interaktiv, slik at den også gjelder for andre bygningstypologier.

Gjennom studien har vi vurdert fordeler og ulemper ved ulike typer isolasjon. Videre kunne det vært aktuelt å undersøke bruken av andre materialer i bygningskroppen og hvordan deres varmeegenskaper vil påvirke energieffektiviteten til boligen.

For å få et enda bedre løsningsforslag kan videre forskning utvide avgrensningen. På den måten kan en studere energibesparelsen i større grad ved å kombinere energieffektiviserende tiltak på bygningskroppen med tekniske installasjoner.



## Kapittel 7. Kildeliste

- Anderson, W. (2019). English: Electromagnetic spectrum. Wavelengths in meters. Full Spectrum. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic\\_spectrum\\_2.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic_spectrum_2.jpg)
- Atelier KK. (1923a). Bolig under bygging, selvbyggerkolonien på Nymark.  
<https://marcus.uib.no/instance/photograph/ubb-kk-n-253-046>
- Atelier KK. (1923b). Boliger under bygging, Nymark.  
<https://marcus.uib.no/instance/photograph/ubb-kk-n-253-041>
- Atelier KK. (1923c). Selvbyggerkolonien paa Nymark. Bindingsverksvæg.  
<https://marcus.uib.no/instance/photograph/ubb-kk-n-253-009>
- Bjørberg, S., Larsen, A., & Øiseth, H. (2007). *Livssyklus kostnader for bygninger*.
- Blowerdoor GmbH. (u.å.). *BlowerDoor: BlowerDoor Standard*. Hentet 13. april 2023, fra <https://www.blowerdoor.com/measurement-systems/blowerdoor-standard>
- Bokhari, S., & Geltner, D. (2018). Characteristics of Depreciation in Commercial and Multifamily Property: An Investment Perspective. *Real Estate Economics*, 46(4), 745–782. <https://doi.org/10.1111/1540-6229.12156>
- Bøhlerengen, T. (2009). *Etterisolering: Energisparende tiltak i småhus*. SINTEF Byggforsk.
- Dalen, L. S. (2019, februar 1). Hvilket treslag brenner best? Nibio.  
<https://www.nibio.no/nyheter/hvilket-treslag-brenner-best>
- DiBK. (2015). Veiledning om teknisk krav til byggverk.  
[https://dibk.no/globalassets/endringshistorikk/byggteknisk-forskrift/kapittel-14-energi\\_byggteknisk-forskrift\\_2015.pdf](https://dibk.no/globalassets/endringshistorikk/byggteknisk-forskrift/kapittel-14-energi_byggteknisk-forskrift_2015.pdf)
- Energismart. (2021, juli 6). Luft-luft varmpumpe.  
<https://www.energismart.no/oppvarming/luft-luft-varmpumpe-article239-821.html>
- Enova. (u.å.). *Beskrivelse av tekniske kriterier ved tilskudd til oppgradering av bolig*.
- Enova. (2016a, desember 27). Balansert ventilasjon | Oppgradere huset. Enova.

- <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/oppgradere-huset/balansert-ventilasjon/>
- Enova. (2016b, desember 27). Bytt til lavenergivinduer og reduser energiutgiftene. Enova.  
<https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/oppgradere-huset/lavenergivindu/>
- Enova. (2016c, desember 27). Montere tettelister | Energitiltak. Enova.  
<https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/oppgradere-huset/montere-tettelister/>
- Enova. (2016d, desember 27). Oppgradering av bygningskroppen – Oppgradere huset. Enova.  
<https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/oppgradere-huset/oppgradering-av-bygningskroppen-/>
- Enova. (2022, februar 2). *Solcelleanlegg | Energitiltak | Solenergi*. Enova.  
<https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/solenergi/solcelleanlegg/>
- Enova. (2023). *Smarte energi- og klimatiltak | Enova*. Enova.  
<https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/>
- European Union. (2021, desember 15). *Renovation and decarbonisation of buildings* [Text].  
European Commission - European Commission.  
[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_21\\_6683](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_6683)
- Fangen, K. (2022, september 6). *Kvalitativ metode*. Forskningsetikk.  
<https://www.forskningsetikk.no/ressurser/fbib/metoder/kvalitativ-metode/>
- Fevang, L. R. (2004). *Termografering: Håndbok for montør og installatør*.
- Fuchs, M. (2022). Conductive Heat Transfer in Thermal Bridges. *Encyclopedia*, 2(2), Artikkel 2. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2020067>
- Fufa, S. M., Flyen, C., & Venås, C. (2020). *Grønt er ikke bare en farge: Bærekraftige bygninger eksisterer allerede*. SINTEF. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2719890/SFag%2b68.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Geving, S. (2021). *Praktisk Bygningsfysikk* (1. utg.). Fagbokforlaget.
- Golafshani, N. (2003). *Understanding reliability and validity in qualitative research*. *The*

- qualitative report* (597-606; 8(4); The Qualitative Report). University of Toronto.  
<http://www.nova.edu/ssss/QR/QR8-4/golafshani.pdf>
- Grynning, S., Baetens, R., Jelle, B. P., Gustavsen, A., Uvsløkk, S., & Meløysund, V. (2009).  
*Vakuumisolasjonspaneler for bruk i bygninger – Egenskaper, krav og muligheter*  
(Prosjektrapport Nr. 31). SINTEF.  
<https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/sb-prrapp-31.pdf>
- Grønmo, S. (2012). Kvalitative og kvantitative metoder: Begreper og distinksjoner.  
*Sosiologisk tidsskrift*, 20(1), 85–91. <https://doi.org/10.18261/ISSN1504-2928-2012-01-06>
- Gustavsen, A., Thue, J. V., Blom, P., Dalehaug, A., Aurlien, T., Grynning, S., & Uvsløkk, S.  
(2008, september 30). *Kuldebroer – Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk*. SINTEF.  
[https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/sb\\_prosjektrapport\\_25.pdf](https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/sb_prosjektrapport_25.pdf)
- Hansen, G. K. (2019). Mineralull. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/mineralull>
- Haugen, T. I. (2008). *Forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling av bygninger*. Tapir akademisk forlag.
- Jacobsen, D. I. (2005). *Hvordan gjennomføre undersøkelser? Innføring i samfunnsvitenskapelig metode*. (2. utgave). Høyskoleforlaget.
- Jelle, B. P. (2011). Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities. I *Energy and Buildings* (Bd. 43, s. 2549–2563).  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811002295>
- Johnson, T. P. (2012). Failures in Substance Use Surveys. *Substance Use & Misuse*, 47(13–14), 1675–1682. <https://doi.org/10.3109/10826084.2012.706161>

- Kartverket. (2020). [Bildesøk Bergen med bakgrunnslag Enkel]. Hentet 21. mai 2023 fra <https://norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1006&zoom=11&lat=6734122.63&lon=31897.16&p=searchOptionsPanel&sok=Christies%20gate&markerLat=6734122.633652327&markerLon=-31897.160068342986>
- Klima-og miljødepartementet. (2018, mai 1). *Enova SF* [Eksternvirksomhet]. Regjeringen; regjeringen.no. <https://www.regjeringen.no/no/dep/kld/organisasjon/selskaper/enova-sf/id2599611/>
- Kohler, N., König, H., Kreissig, J., Lützkendorf, T., Kreissig, J., & Lützkendorf, T. (2013). *A Life Cycle Approach to Buildings: Principles - Calculations - Design Tools*. Detail Business Information GmbH, The. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/hogskbergen-ebooks/detail.action?docID=1075603>
- Krogsveen. (2023). Prisstatistikk Bergen: Sentrum - Krogsveen. <https://www.krogsveen.no/prisstatistikk?zipCode=5063>
- Kylili, A., Fokaidis, P. A., Christou, P., & Kalogirou, S. A. (2014). Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review. *Applied Energy*, *134*, 531–549. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.005>
- Lovdata. (2021, august 5). *Lov om klimamål (klimaloven)*—Lovdata. Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2017-06-16-60>
- Martens, J.-D. (2023). Sosial boligbygging i Norge 1900-1940. I *Store norske leksikon*. [http://snl.no/sosial\\_boligbygging\\_i\\_Norge\\_1900-1940](http://snl.no/sosial_boligbygging_i_Norge_1900-1940)
- Mørk, M. I. (2018, juni 20). *Livssyklus kostnader (LCC)*. Byggordboka. <https://www.byggordboka.no/artikkel/les/livssyklus kostnader-lcc>
- Nielsen, M. (2011, november 9). *Kommunal boligbygging | Historier fra en bydel – Årstad*. Bergen byarkiv. <https://www.bergenbyarkiv.no/aarstad/archives/kommunal-boligbygging/882>

- Nielsen, M. (2014, mars 21). *Selvbyggerkolonien på Nymark / Historier fra en bydel – Årstad*. Bergen byarkiv. <https://www.bergenbyarkiv.no/aarstad/archives/selvbyggerkolonien-pa-nymark>
- Nitter, K. (2020, desember 6). *De mest bærekraftige byggene finnes allerede*. SINTEF. <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/de-mest-barekraftige-byggene-finnes-allerede/>
- Norconsult Informasjonssystemer. (2023, januar). *Norsk Prisbok*. Norsk prisbok. <https://www.norskprisbok.no/>
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2021, mars 25). *Energieffektivisering i norske bygninger kan redusere energibruken tilsvarende 10 prosent av Norges strømforbruk—NVE*. Norges vassdrags- og energidirektorat. <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-energi/energieffektivisering-i-norske-bygninger-kan-reducere-energibruken-tilsvarende-10-prosent-av-norges-stromforbruk/>
- Obs BYGG. (2023). *TermPir® AL 50x600x1200mm isolasjonsplate* [Nettbutikk]. <https://www.obsbygg.no/tak/2668894>
- Olje- og energidepartementet. (2021, august 1). *Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (Energiloven)—Kap. 8. Energitilstand i bygninger—Lovdata*. Lovdata. [https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1990-06-29-50/KAPITTEL\\_8#KAPITTEL\\_8](https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1990-06-29-50/KAPITTEL_8#KAPITTEL_8)
- Olje-og energidepartementet. (2022, oktober 6). *Styrker innsatsen for økt energieffektivisering* [Pressemelding]. Regjeringen; regjeringen.no. <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/milliardsatsing-til-energieffektivisering/id2932296/>
- Olje-og energidepartementet. (2023, februar 1). *Energibruk og produksjon i Norge i dag* [NOU]. Regjeringen; regjeringen.no. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2023-3/id2961311/>

Sikt. (2023). Gjennomføre et prosjekt uten å behandle personopplysninger | Sikt.

<https://sikt.no/gjennomfore-et-prosjekt-uten-behandle-personopplysninger>

Simien. (2018, desember 28). Dette trenger du for å gjøre en energiberegning.

<https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/dette-trenger-du-for-a-gjore-en-energiberegning/www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/dette-trenger-du-for-a-gjore-en-energiberegning/>

SINTEF. (2014, desember). *474.624 Luftlekkasjemåling av bygninger. Hensikt og vurdering—Byggforskserien*. Byggforsk.

[https://www.byggforsk.no/dokument/4126/luftlekkasjemaaling\\_av\\_bygninger\\_hensikt\\_og\\_vurdering](https://www.byggforsk.no/dokument/4126/luftlekkasjemaaling_av_bygninger_hensikt_og_vurdering)

SINTEF. (2017, desember). *552.301 Ventilasjon av boliger. Prinsipper—Byggforskserien*. Byggforsk.

[https://www.byggforsk.no/dokument/527/ventilasjon\\_av\\_boliger\\_prinsipper](https://www.byggforsk.no/dokument/527/ventilasjon_av_boliger_prinsipper)

SINTEF. (2018, september). *471.008 Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946—Byggforskserien*. [https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning\\_av\\_u-verdier\\_etter\\_ns-en-iso\\_6946](https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning_av_u-verdier_etter_ns-en-iso_6946)

SINTEF. (2019, oktober). *472.001 Kuldebroer. Typer, konsekvenser og bruk av normalisert kuldebroverdi—Byggforskserien*.

[https://www.byggforsk.no/dokument/5206/kuldebroer\\_typer\\_konsekvenser\\_og\\_bruk\\_av\\_normalisert\\_kuldebroverdi](https://www.byggforsk.no/dokument/5206/kuldebroer_typer_konsekvenser_og_bruk_av_normalisert_kuldebroverdi)

SSB. (2023a, april 7). *06265: Boliger, etter bygningstype, statistikkvariabel og år*.

*Statistikkbanken*. SSB. <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/bolig-og-boforhold/statistikk/boliger>

SSB. (2023b, februar 20). *06266: Boliger, etter bygningsår, statistikkvariabel, år og bygningstype*. *Statistikkbanken*. SSB.

- <https://www.ssb.no/statbank/table/06266/tableviewlayout1/>
- SSB. (2023c). 09387: Kraftpris, nettleie og avgifter for husholdninger, etter kvartal og statistikkvariabel. Statistikkbanken. SSB. <https://www.ssb.no/system/>
- Standard Norge. (1998). *Bygningers termiske egenskaper. Kvalitativ metode for å oppdage termiske uregelmessigheter i bygningers klimaskjermer* (NS-EN 13187; Norsk standard).
- Standard Norge. (2013). *Kriterier for passivhus og lavenergibygninger. Boligbygninger* (Standard NS 3700:2013).
- Standard Norge. (2015). *Bygningers termiske egenskaper—Bestemmelse av bygningers luftlekkasje—Viftetrykkmetode (ISO 9972:2015)* (NS-EN ISO 1997:2015; Norsk standard).
- SurveyMonkey. (2023). SurveyMonkey: Verdens mest populære nettbaserte verktøy for spørreundersøkelser. SurveyMonkey. <https://no.surveymonkey.com/>
- Tunheim, A. I., Viljugrein, B., Aspmodel, S. R., Riis, S. A., & Bjørk, M. (2022, januar 12). *Nytteverdier fra smarte varmtvannsberedere*. Smartgrid. [https://smartgrids.no/app/uploads/2022/12/NSGC\\_2022\\_02\\_IDE\\_Nytteverdier-fra-smarte-varmtvannsberedere.pdf](https://smartgrids.no/app/uploads/2022/12/NSGC_2022_02_IDE_Nytteverdier-fra-smarte-varmtvannsberedere.pdf)
- United Nations Climate Change. (2016, november 4). *The Paris Agreement*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- Valmot, O. R. (2018, november 17). *Innsikt: Hvor effektivt er egentlig vedfyring?* Teknisk Ukeblad. <https://www.tu.no/artikler/hvor-effektivt-er-egentlig-vedfyring/414718>
- Yin, R. K. (2013). Validity and generalization in future case study evaluations. *Evaluation*, 19(3), 321–332. <https://doi.org/10.1177/1356389013497081>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods / Robert K. Yin*. (6. Edition). SAGE.